JAHRGANG LXII. 1912. HEFT IV BIS VI.

Die neue Marineschule in Mürwik-Flensburg.

(Mit Abbildungen auf Blatt 29 bis 31 im Atlas.)



Abb. 1. Blick vom Turme des Hauptgebäudes nach Süden.

Die Marineschule, auf welcher die theoretische Ausbildung des Offiziersersatzes für die deutsche Marine stattfindet, ist hervorgegangen aus der im Jahre 1851 in Stettin errichteten Königlichen Preußischen Marineschule, die mit der Verlegung des Marinekommandos nach Danzig dorthin übersiedelte und 1855 weiter nach Berlin verlegt wurde. Dort verblieb sie bis zum Frühjahr 1866 unter dem Namen Seekadetten-Institut. Am 15. Mai 1866 wurde die Anstalt nach Kiel verlegt, wo sie wieder den Namen Marineschule erhielt und zunächst in dem Gebäude der späteren Deckoffizierschule in der Mühliusstraße untergebracht wurde. Im Jahre 1888 bezog sie das inzwischen im Stadtteil Düsternbrook dicht am Hafen errichtete stattliche Gebäude, das gleichzeitig die Marineakademie aufnahm. Diese mußte indessen wegen der steten Vergrößerung der Schule bald verlegt werden. Auch dieses Aushilfsmittel genügte nicht lange. Von Jahr zu Jahr mußten mehr Seekadetten eingestellt und mehr Fähnriche auf der Marineschule ausgebildet werden, so daß schon zu Anfang des neuen Jahrhunderts die Errichtung einer neuen Anstalt und die Verlegung von Kiel in Aussicht genommen wurde.

Die Wahl des neuen Standortes fiel auf Flensburg, dessen Vertreter für die Errichtung der Anstalt ein Grundstück von 15 ha Größe in hervorragender Lage an der Flensburger Föhrde unentgeltlich zur Verfügung stellten. Käuflich dazuerworben sind von dem Gutsbesitz Osbekhof noch 2,2281 ha und von der angrenzenden ehemaligen Osbekziegelei weitere 1,7659 ha. Dazu kommen an Strandgelände 0,7510 ha. Von diesem 18,5625 ha großen Gesamtgrundstück sind zur Erbauung eines Marinelazarettes abgezweigt 1,8060 ha, so daß für die Anlagen der Marineschule 16,7565 ha verbleiben, zu denen durch Schenkung der Stadt Flensburg nachträglich weitere 8,306 ha hinzugetreten sind. Auf diesem Grundstück, das zu der jetzt nach Flensburg eingemeindeten Ortschaft Mürwik gehört, ist die neue Anstalt erbaut worden, welche in bezug auf ihre Größe voraussichtlich für absehbare Zeiten allen zu stellenden Anforderungen genügen wird.

Die Form und Lage des zur Verfügung stehenden Geländes sind aus Abb. 2 Bl. 31 ersichtlich. Die wellige Oberfläche des Grundstücks senkt sich von Osten nach Westen dem Föhrdeufer zu und fällt schließlich nach dem Strande etwa 15 m tief in einer steilen, bewaldeten Böschung von etwa 45° ab.

Die Stellung des Hauptgebäudes auf dem Grundstück geht gleichfalls aus dem Lageplan Abb. 2 Bl. 31 hervor. Da

das Gebäude zur Erzielung eines guten Architektur- und Landschaftsbildes möglichst dem Gelände angepaßt und von einer völligen Einebnung des letzteren von vornherein Abstand genommen werden sollte, mußte in Rücksicht auf die Gefällverhältnisse die Längenentwicklung des Gebäudes gleichlaufend mit dem Strande erfolgen. Um das Bauwerk, das wegen der Standunsicherheit der steilen Uferböschung gegen 60 m von dieser entfernt bleibt, von dem tiefliegenden Wasser und den vorüberfahrenden Schiffen aus hinter der Böschung nicht zum Teil verschwinden zu lassen, wurde es auf erhöhtes Gelände gestellt und ist nun weithin in ganzer Höhe vom Wasser aus sichtbar (Abb. 1 Bl. 29).



Abb. 2. Mittelbau mit Hauptzugang von der Landseite und anstoßendem Unterrichtsflügel.

Den Norddeutschland eigentümlichen Baustoffen entsprechend ist das Bauwerk aus Ziegelsteinen auf einem Granitsockel hergestellt und zwar in den Formen des mittelalterlichen norddeutschen Backsteinbaues unter Verwendung kleinerer Putzflächen und weniger Formsteine. Besondere Aufmerksamkeit ist der Form und der Oberflächenbeschaffenheit der Steine, ihrer Farbe, dem Verbande oder Fugenschnitt und dem Fugenverputz gewidmet worden. Alle diese Einzelheiten sind für die Erreichung der den mittelalterlichen Backsteinbauten Norddeutschlands so eigenartigen Wirkung von Wichtigkeit. Als Steinverband ist der sogenannte gotische Verband gewählt worden. Nur an dem Wasserturm ist in Rücksicht auf die Krümmung der Umfassungswände der wendische Verband zur Ausführung gekommen. An Stelle von Handstrichziegeln sind hier zur Verblendung künstlich gerauhte Maschinenziegel verwendet worden, die eine sehr viel kräftigere Schattierung ergeben.

Die Gliederung der Grundrisse (Bl. 31) und die Aufrißform des Hauptgebäudes (Bl. 29 u. 30) lassen einerseits die den verschiedenen Zwecken dienenden Gebäudeteile klar erkennen und hervortreten und ermöglichten anderseits, dem Bauwerk eine Gestalt zu geben, die sich gut in das Landschaftsbild einfügt. Die Forderung, daß die Wohnungen in möglichst großer Zahl den Ausblick auf das Wasser gewähren sollten, und die große Menge der Wohnungen veranlaßten dazu, diese in zwei Gebäudegruppen mit den Langfronten parallel zum Wasser anzuordnen, die Messe- und Verwaltungsräume in einem dazwischen gelegenen, aber weit zurücktretenden Mittelbau unterzubringen und senkrecht zu diesem nach der dem Wasser abgekehrten Richtung einen Flügel zu bauen, in welchem die Unterrichts- und Sammlungsräume Platz finden. Einen Anhang zu dem Unterrichtsflügel bildet der Turnsaal. Durch eine während der Bauausführung angeordnete Erweiterung des nördlichen Wohngebäudes ist der Gesamtgrundriß etwas unsymmetrich geworden, ohne daß dadurch die Gesamtwirkung beeinträchtigt worden ist.



Abb. 3. Freitreppe am Bootshafen.

Bei der gewählten Gruppierung bildet der Mittelbau einen Verkehrsmittelpunkt der Anlage und ist der gegebene Platz für das in ihm angeordnete Haupttreppenhaus und den Hauptzugang des Gebäudes von der Landseite (Text-Abb. 2). Nach der Wasserseite, wohin der Verkehr viel lebhafter ist, führen mehrere Nebenausgänge. Außerdem bildet der Weg über die vor dem Speisesaal liegende Terrasse mit ihren Treppenanlagen einen bei festlichen Gelegenheiten zu benutzenden repräsentativen Ausgang nach der Wasserseite, wo eine architektonisch ausgebildete Freitreppe den 15 m hohen Aufstieg von der Anlegebrücke vermittelt (Text-Abb. 3).

Mußte der Mittelbau, wie schon hervorgehoben, gegen die Fronten der Wohnhausgruppen erheblich zurücktreten, so durfte darunter doch die Betonung des Mittelpunktes der Anlage zur Sicherung einer guten Gesamtwirkung nicht leiden, und es mußte im Gegenteil dafür gesorgt werden, daß die architektonische Ausgestaltung des Mittelbaues mächtig genug wurde, um die Rücklage gegen die Front nicht nur auszugleichen, sondern auch die Flügelbauten trotz ihrer Ausdehnung und ihres starken Hervortretens zu beherrschen. Dies ist erreicht worden einmal durch den in der Mitte des Gebäudes errichteten Turm und weiter durch den sowohl seiner Größe wie seiner architektonischen Durchbildung nach wirksamen Giebelbau auf der Westseite (Bl. 29 u. 30). Dieser Giebel ist verhältnismäßig reich gegliedert und tritt dadurch in den für die Wirkung der Gesamtanlage notwendigen starken Gegensatz zu dem schlichten Turm und den ebenso schlichten Fronten der Flügelbauten.

Noch während des Baues ergab sich die Notwendigkeit, Änderungen und Erweiterungen vorzunehmen, veranlaßt einerseits durch die Forderung, außer den Fähnrichen auch die jährlich zur Einstellung kommenden 220 Seekadetten und Baueleven mit dem erforderlichen Ausbildungspersonal an Offizieren, Unteroffizieren und Mannschaften für etwa sechs Wochen in der Anlage unterzubringen, anderseits durch die nachträgliche Erhöhung der Zahl der gleichzeitig die Schule besuchenden Fähnriche und endlich durch die Menge der aufzustellenden Modelle usw. — Für den Hauptteil der Anlage, die Wohnungen der Fähnriche, war die Anordnung der Räume gegeben durch die Forderung, daß je vier Fähnriche ein Wohn- und ein Schlafzimmer und je acht Fähnriche ein gemeinsames Wasch- und Badezimmer erhalten sollten. Letzteres liegt zwischen den beiden Schlafzimmern, an die sich nach der anderen Seite die Wohnzimmer anschließen, wie aus den Abb. 4 Bl. 31 und Text-Abb. 5 ersichtlich ist. Je fünf Fähnrichswohnungen gehören zu einer Inspektion. Diese umfaßt 21 Schüler, so daß jede Inspektion vier viermännige und eine fünfmännige Wohnung erhält.

In unmittelbarem Anschluß an die Fähnrichswohnungen jeder Inspektion ist die Wohnung des Inspektionsoffiziers

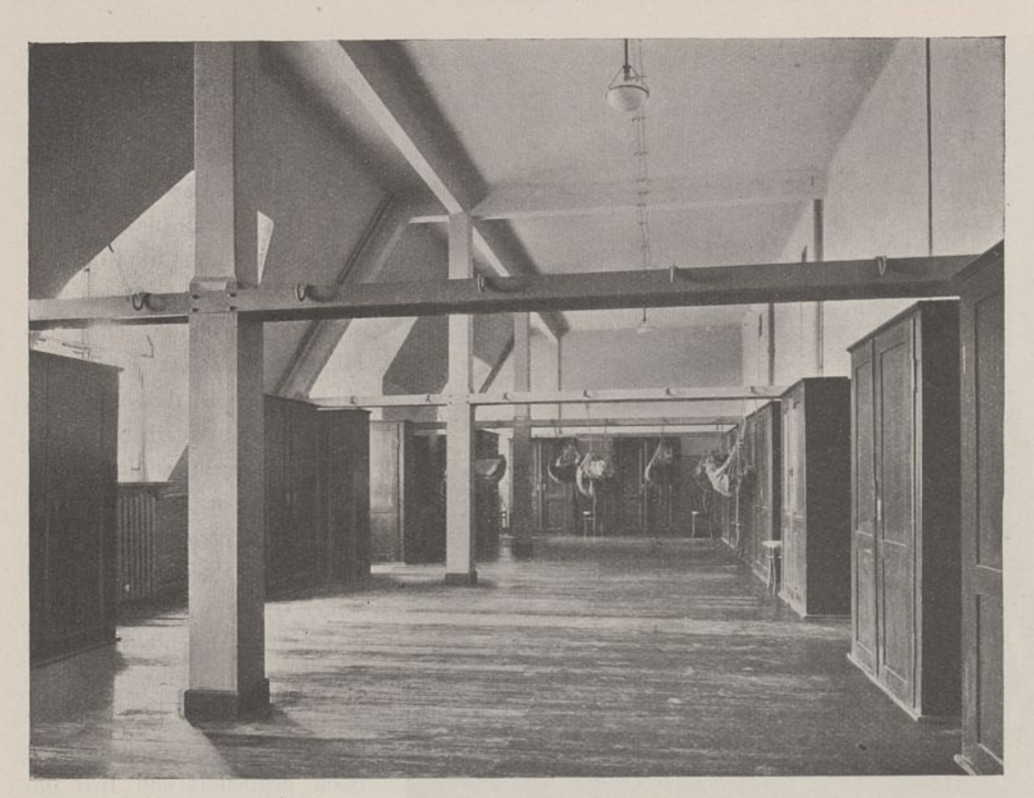


Abb. 4. Wohn- und Schlafraum der Seekadetten im Dachgeschoß.

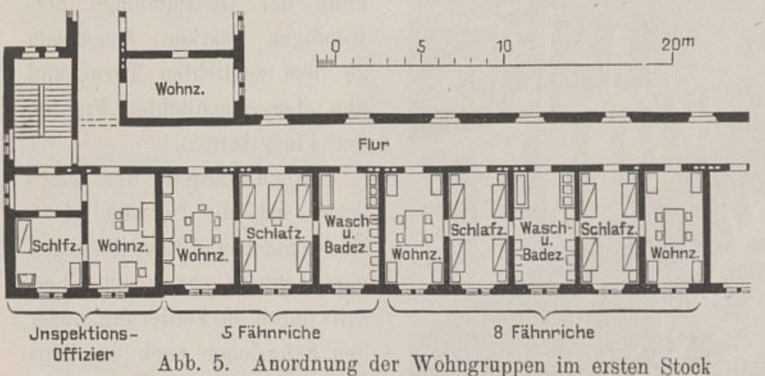


Abb. 5. Anordnung der Wohngruppen im ersten Stock des südlichen Wohnflügels.

vorgesehen, welche aus Flur, Wohn- und Schlafzimmer besteht. In jedem der beiden Wohnflügel ist für die Offiziere ein gemeinsames Badezimmer vorhanden.

Im Untergeschoß der Wohnflügel (Abb. 5 Bl. 31) sind die Wohn- und Wirtschaftsräume der Mannschaften, wie Küche, Waschküche, Kantine, Bäder und Dienstwohnungen für Unterbeamte untergebracht.

Das Dachgeschoß der Wohnflügel (Abb. 1 Bl. 31) enthält dagegen die Wohnräume der Seekadetten und des zugehörigen Ausbildungspersonals an Offizieren und Unteroffizieren sowie der nötigen Bedienungsmannschaften. Die Seekadetten liegen zu fünf bis zwanzig in einem Raum. Wohn- und Schlafräume sind hier nicht getrennt. Die Seekadetten sowohl wie ihre Bedienungsmannschaften schlafen in Hängematten, welche über Tag abgenommen und in feuersicheren, mit Lüftungseinrichtungen versehenen Wandschränken aufbewahrt werden (Text-Abb. 4). Die Seekadettenoffiziere haben nur je einen Raum zur Verfügung, der gleichzeitig Wohn- und Schlafzimmer bildet.

Im Mittelbau der Anlage, welcher hauptsächlich die Messe- und Verwaltungsräume enthält, liegen im Untergeschoß einige Bureauräume und die Hauptküche für die Seekadetten-, Fähnrichs- und Offiziermesse mit den zugehörigen Wirtschafts- und Vorratsräumen sowie die Sammelheizung, Warmwasserbereitung und die Hauptschaltstelle für die elektrische Beleuchtung. Im ersten Hauptgeschoß befinden sich wieder einige Verwaltungsräume, die Fähnrichsmesse mit dem Hauptspeisesaal sowie der Haupteingang von der Landseite nebst Haupttreppenhaus und Vorhalle; im zweiten Hauptgeschoß die Offiziermesse, Direktor- und Adjutantenzimmer, die Aula und die Dienstzimmer der drei Fähnrichsoffiziere sowie das Lehrerzimmer. Im ersten Dachgeschoß liegen Wohnungen für Seekadetten, ein Zeichensaal, ein Bibliothekraum, ein Lesezimmer und Zimmer für Schneider, Schuhmacher und den Barbier, außerdem zwei Arrestzellen für Fähnriche; im zweiten Dachgeschoß befinden sich ein Modellsaal und ein Zeichensaal.

Der Unterrichtsflügel enthält im Untergeschoß die Pförtnerwohnung, die Arrestzellen für Mannschaften, eine Waschküche für die Beamtenfamilien, sowie Vorratsräume für Brennstoffe u. a.; im ersten Hauptgeschoß die Turnhalle

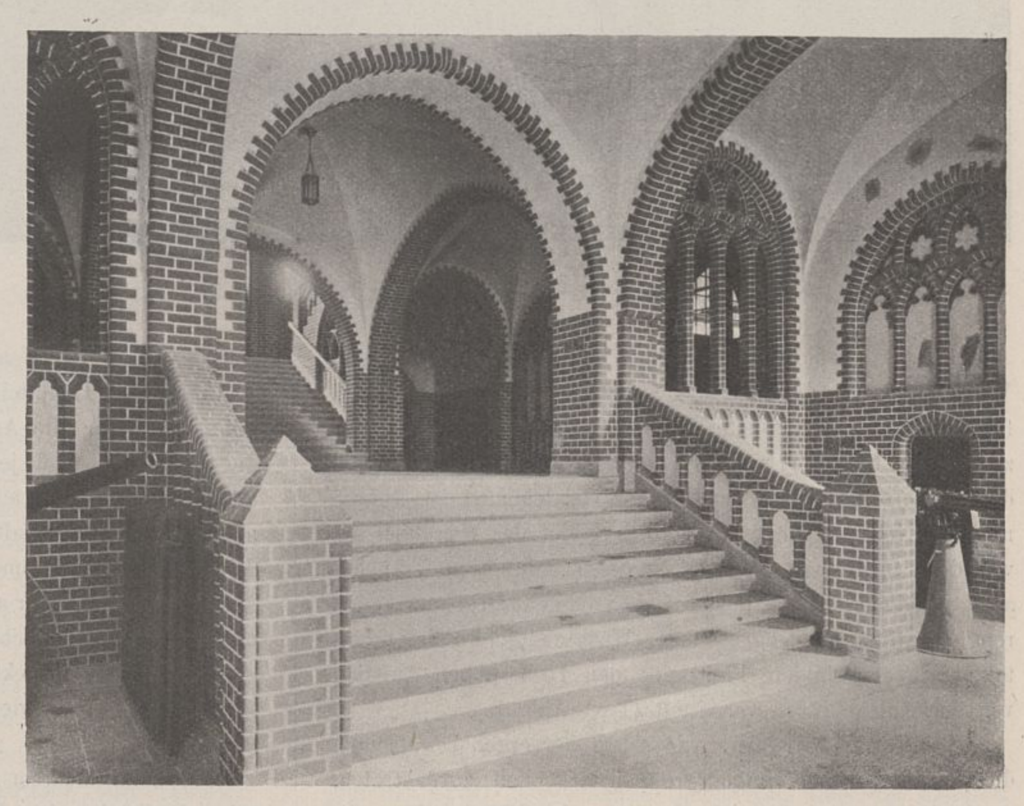


Abb. 6. Haupteingangshalle.



Abb. 7. Turnhalle. Ansicht von Nordwesten.

Unterrichtssäle, Modellräume, Sammlungszimmer und Vorbereitungszimmer für naturwissenschaftlichen Unterricht; im zweiten Hauptgeschoß nur Unterrichtsräume; im Dachgeschoß Trockenboden und Lagerräume.

In allen Flügeln und Geschossen sind die erforderlichen Aborträume und Räume für Reinigungsgeräte vorgesehen.

Außer dem Haupttreppenhaus sind noch sieben Nebentreppenhäuser vorhanden, welche durch alle Geschosse reichen. Dazu kommen im Mittelbau noch zwei Treppenanlagen, welche im zweiten Hauptgeschoß beginnen und nach den in dem ersten und zweiten Dachgeschoß liegenden Unterrichtsräumen führen; endlich enthält der Hauptturm noch eine besondere bis zum Turmdach führende Treppe.

Bei der Wahl der Baukonstruktionen ist der größte Wert auf Feuersicherheit und Dauerhaftigkeit gelegt worden. Die Grundmauern bestehen aus Kiesbeton, die Wände aus einheimischen gutgebrannten Ziegelsteinen. In den Umfassungswänden sind die Außenflächen der Mauern mit künstlich gerauhten Maschinenziegeln verblendet, welche aus der Ziegelei der Firma Th. Düren in Godesberg stammen. Um das Durchschlagen von Feuchtigkeit durch die Mauern für die Wohnräume unschädlich zu machen, sind diese an der Wetterseite innen mit Kosmos-Falzplatten bekleidet, auf welche der Putz aufgebracht worden ist. Die Stärke der Umfassungswände beträgt im Untergeschoß, abgesehen von einzelnen, wegen der größeren Belastung stärker hergestellten Wänden, 58 cm, entsprechend einer Stärke von zwei Ziegeln im Klosterformat, in den Obergeschossen 53 cm. Letzteres Maß ist ermöglicht worden durch Verwendung von 7 cm starken Riemchensteinen in der Verblendung.

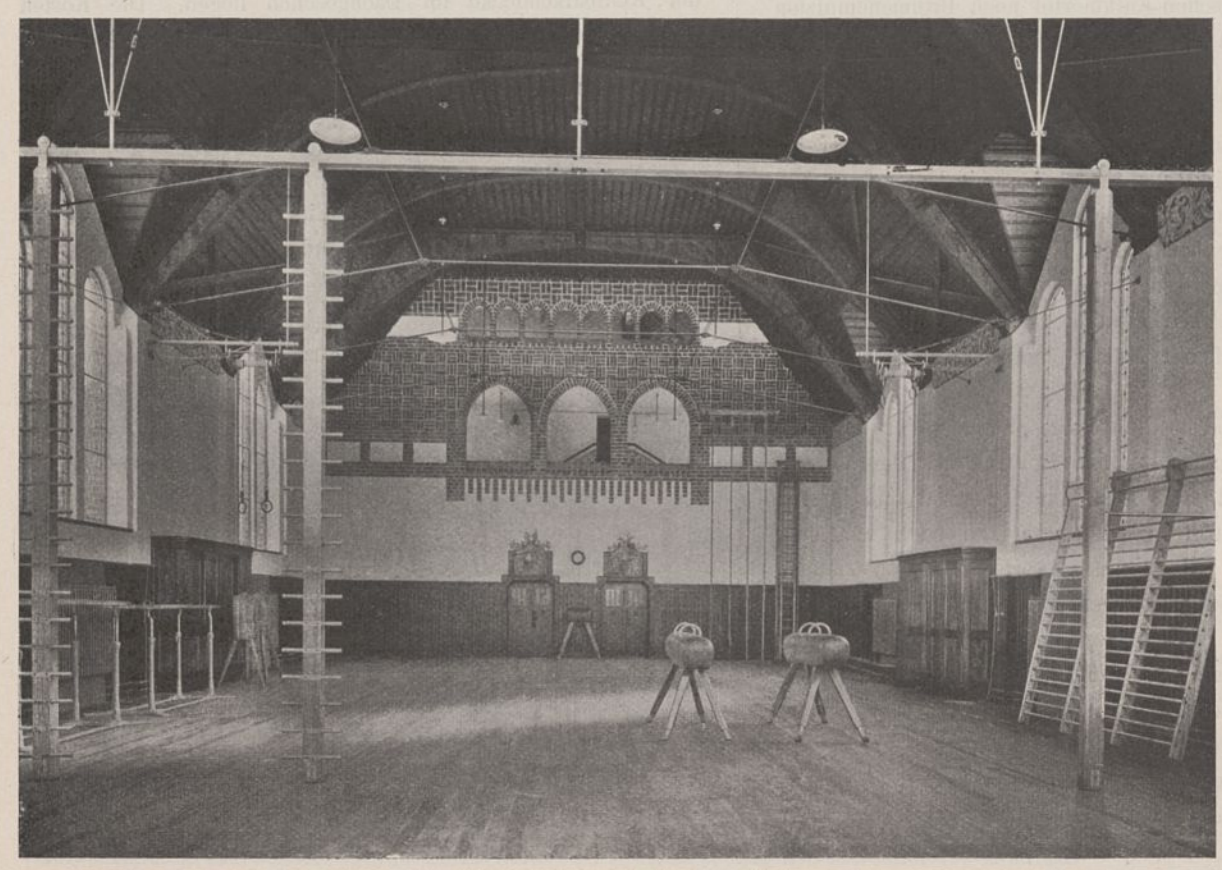


Abb. 8. Turnsaal. Innenansicht.

Zum Mauermörtel ebenso wie zum Putzmörtel ist ausschließlich hydraulischer Kalk verwendet worden. Das Verfugen der Ziegelverblendflächen ist gleichfalls mit hydraulischem Kalkmörtel unter geringem Zusatz von Weißkalk zwecks Erzielung hellerer Fugen erfolgt. Für die Herstellung der in Ziegelsteinen ausgeführten Fenstersohlbänke und für



Abb. 9. Wasserturm.

alle den Witterungseinflüssen besonders ausgesetzten Mauerteile ist dem hydraulischen Kalkmörtel noch Bitumenemulsion zugesetzt worden. Außerdem haben die Giebelschrägen und sonstigen gefährdeten Mauerteile Abdeckungen von Kupferblech erhalten.

Alle Decken des Gebäudes und ebenso die Dächer bis zur Kehlbalkenlage sind aus Eisenbeton mit Unterzügen aus den gleichen Baustoffen hergestellt worden, ebenso die Treppen. In dem Haupttreppenhaus, der Haupteingangshalle (Text-Abb. 6), sowie im Speisesaal und einigen anderen Räumen sind die Eisenbetondecken gewölbeartig ausgebildet worden.

Die Dächer sind mit Mönch- und Nonnenziegeln eingedeckt.

Die Fußböden sind in allen Wohn-, Schlaf-, Verwaltungs- und Unterrichtsräumen aus Redpine-Brettern auf Lagerhölzern hergestellt worden. In der Aula, im Speisesaal und in den Messeräumen ist Hetzerscher Buchenholzfußboden zur Ausführung gekommen, alle Flure, Aborte und Badezimmer sind mit Terrazzo belegt worden. Auch die Fußleisten in diesen Räumen sind aus Terrazzo hergestellt. In den Aborten und Badezimmern sind außerdem 1,50 m hohe Wandsockel aus Terrazzo hergestellt und auch die Zwischenwände der Abortzellen aus dem gleichen Stoff gefertigt. Die gleichfalls aus Terrazzo hergestellten Treppenstufen sind mit Prinzko-Schienen versehen und mit Linoleum belegt worden. Auf der Haupttreppe und im Haupteingang ist der Terrazzobelag nach dem Schleifen gestockt worden.

Die Wände sind in den Wohnräumen der Fähnriche, in den Unterrichtsräumen und in den Fluren mit Leimfarbe über einem 1,50 m hohen Sockel von Ölfarbe gestrichen und mit Friesen oder Linien abgesetzt. In der Hauptküche ist der Wandsockel mit weißen Fliesen bekleidet. Die Messeräume sind tapeziert, ebenso die meisten Wohn- und Schlafräume der Inspektions- und der Fähnrichsoffiziere. Speisesaal und Aula sind mit Holzpaneel versehen; die Auladecke hat Holztäfelung unterhalb der Eisenbetondecke erhalten.

Bei der architektonischen Ausgestaltung der Anlage sowohl im Äußeren wie im Innern ist Einfachheit das Leitmotiv gewesen.

Zur Erwärmung des Gebäudes dient eine Warmwasser-Schnellumlaufheizung, die nach der Bauart der Firma Brunn u. Sörensen von Pflaum u. Gerlach in Charlottenburg ausgeführt worden ist und zur Erzielung des Schnellumlaufes nicht besondere Motore (Pumpen) verwendet, sondern nur eine über 100° bis etwa 116° erhöhte Wassertemperatur, bei welcher Dampfbildung eintritt. Durch diese wird der Umlauf des Wassers in den Leitungen beschleunigt. Der infolge Abgabe und Lüftung stündlich erforderte Wärmebedarf des Gebäudes beläuft sich bei der niedrigsten der Berechnung zugrunde gelegten Außentemperatur von — 16° C. auf rd. 1200000 W.E. für die Stunde, welche den zu beheizenden Räumen durch rd. 2200 qm Radiatorheizfläche zugeführt werden. Für die Wohn-, Unterrichts-, Messe- und Verwaltungsräume ist dabei auch für die niedrigste Außentemperatur von — 16° C. eine Innentemperatur von + 20° C., für die Flure + 12° C. gewährleistet. Bei der Ausführung ist aus gesundheitlichen Gründen Wert darauf gelegt worden, Fußbodenkanäle für die Rücklaufleitungen zu vermeiden. Diese Leitungen sind sämtlich unter der Decke des Untergeschosses angeordnet, während die Verteilungsleitungen über der Kehlbalkendecke im Dachgeschoß liegen. Die Kosten der gesamten Heizanlage ausschließlich Gebäude- und Schornsteinkosten haben rd. 110000 Mark betragen, so daß bei rd. 65201 cbm beheizten Raumes je 100 cbm 1,68 Mark Anlagekosten verursacht haben.

Von der Herstellung einer zentralen Luftzuführungs- und Entlüftungsanlage ist einerseits mit Rücksicht auf die freie, windreiche Lage des Gebäudes und die dadurch gewährleistete natürliche Lüftung, anderseits wegen der Weiträumigkeit des Gebäudes im Verhältnis zu der Zahl der Insassen abgesehen worden. Selbstverständlich ist durch die Anlage von Entlüftungsrohren für Abführung der schlechten

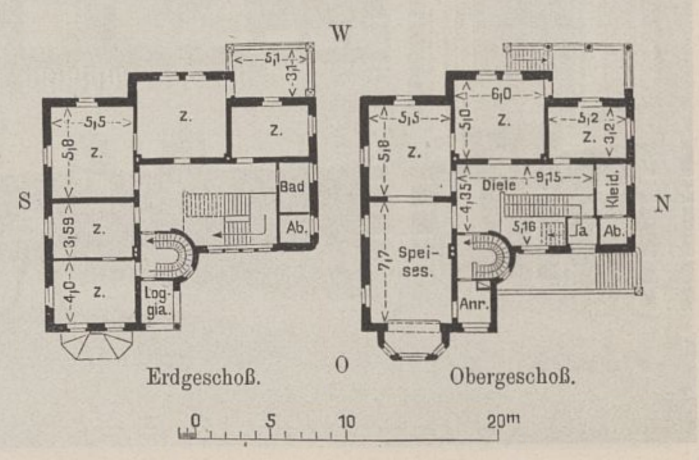


Abb. 10. Direktorwohnhaus.

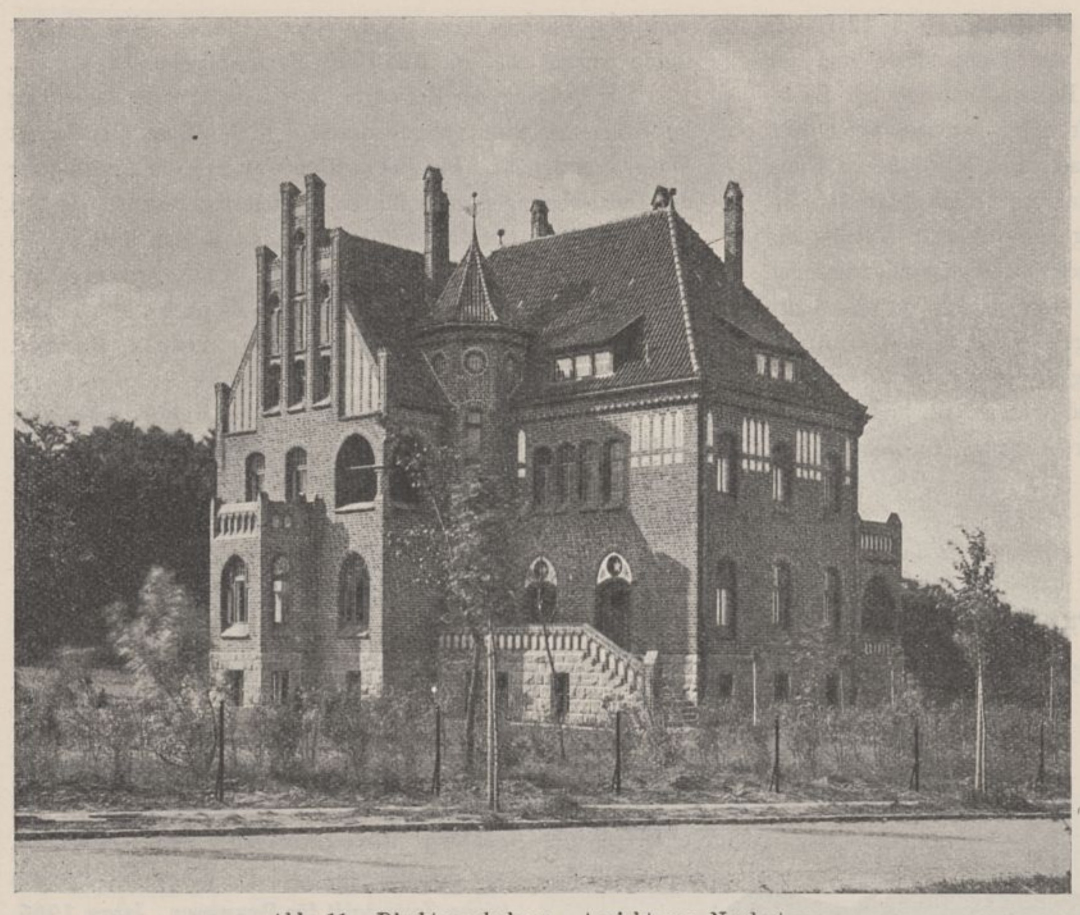


Abb. 11. Direktorwohnhaus. Ansicht von Nordosten.

wasserbereitungsanlage mit besonderem Kessel und Boiler hergestellt worden. Die Zahl der Zapfstellen für warmes Wasser beträgt 180, wenn für eine Badewanne je zwei Zapfstellen gerechnet werden.

Die ebenfalls über das ganze Gebäude verzweigte Frisch- oder Kaltwasserleitung ist mit Hydranten und Schlauchverbindungen für Feuerlöschzwecke ausgestattet. Für die Wassergewinnung sind zwei Bohrbrunnen und zwar ein Tiefbrunnen von 215 m Tiefe und ein zweiter von etwa 30 m Tiefe angelegt worden, aus denen zusammen stündlich bis 60 cbm Wasser gefördert werden können. Die Verbindung der beiden Brunnen ist durch eine Heberleitung hergestellt, so daß das Wasser des Tiefbrunnens, welches bis etwa 15 m höher steigt als das Wasser des anderen Brunnens, in

Luft gesorgt. Die Entlüftungsrohre münden im Dachgeschoß über dem Kehlgebälk aus und sind dort durch Gitter abgedeckt.

Zur Versorgung der über das ganze Gebäude verteilten Wasch- und Badeanlagen mit warmem Wasser ist eine Warm-

den Sammelschacht des letzteren frei überläuft. Die Förderung aus diesem Sammelschacht in den in besonderem Wasserturm, etwa 48 m höher gelegenen Wasserbehälter (Text-Abb. 9) erfolgt durch zwei elektrisch angetriebene Kolbenpumpen. Da das Wasser stark eisenhaltig ist, ist noch eine Enteisenungsanlage eingebaut und zur Verhütung von Kesselstein in den Kesseln und Rohrleitungen für warmes Wasser außerdem eine Enthärtungsanlage in den Boiler der Warmwasserbereitung eingeschaltet worden. Für Feuerlöschzwecke und zur Bewässerung der Anpflanzungen ist die Kaltwasserleitung auch auf das die Gebäude umgebende Gelände ausgedehnt worden.

Die künstliche Beleuchtung der Anlage erfolgt durch elektrisches Licht, für welches der notwendige Strom von dem Flensburger Elektrizitätswerk bezogen wird.

Außer dem Hauptgebäude mit den Wohn-, Unterrichts- und Verwaltungsräumen gehören zu der Marineschule noch folgende Gebäude und Anlagen:

1. ein besonderes Wohnhaus für den Direktor, ganz im

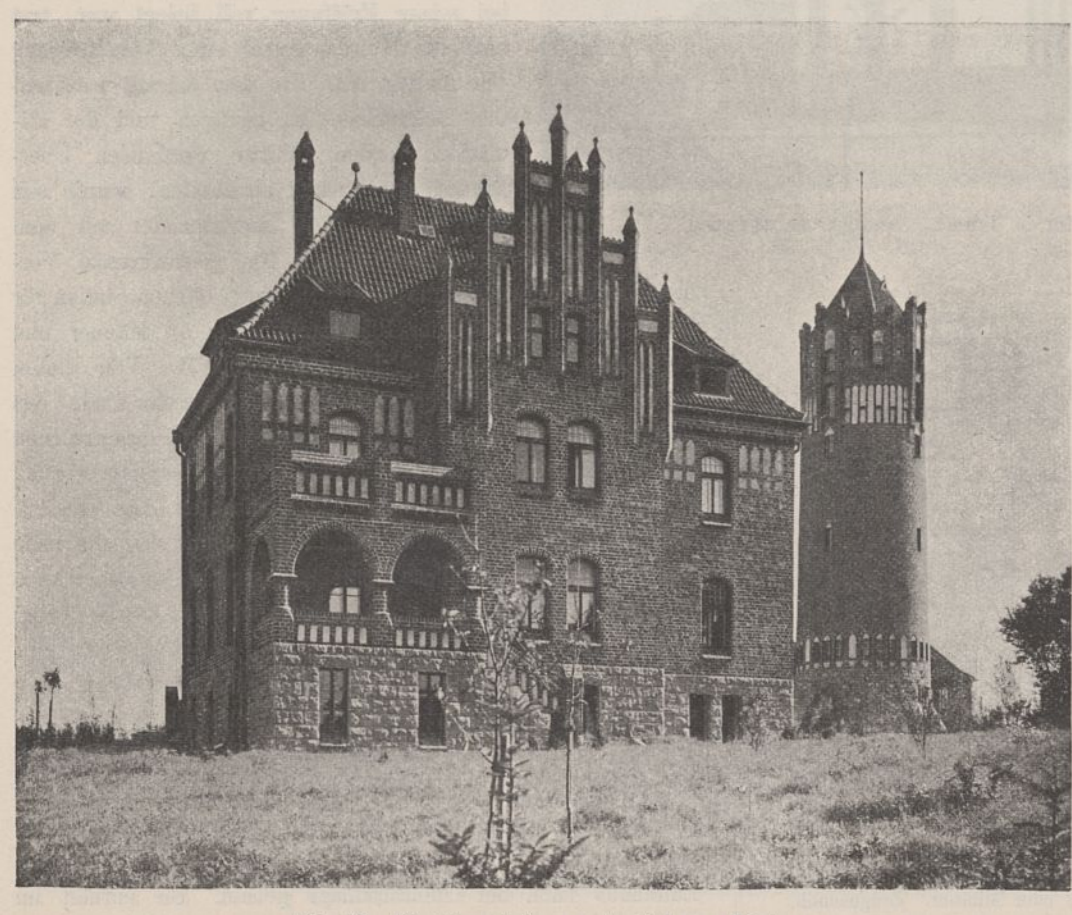


Abb. 12. Direktorwohnhaus. Ansicht von Westen.

Stile des Hauptgebäudes errichtet (Text-Abb. 10 bis 12); 2. der Wasserturm mit Hochbehälter, das Pumpenhaus und die Brunnen (Text-Abb. 9); 3. die Bootshafenanlage mit Bootsschuppen (Abb. 2 Bl. 31); 4. die Freitreppenanlage, welche den Verkehr von dem Bootshafen nach dem etwa 20 m höher gelegenen Gelände der Marineschule vermittelt (Text-Abb. 3); 5. die biologische Abwässerreinigungsanlage, in welcher die sämtlichen Abwässer der Marineschule und des angrenzenden Marinelazaretts so weit gereinigt werden, daß sie vollständig fäulnisfrei in die Föhrde gelangen (Abb. 2 Bl. 31); 6. die Platz-, Straßen- und Gartenanlagen.

Die Kosten des Hauptgebäudes haben rd. einschließlich Bauleitungskosten 1733460 Mark betragen, wobei auf 1 cbm umbauten Raumes etwa 18,87 Mark entfallen. Für die gesamte Anlage sind rd. 2250000 Mark aufgewendet worden.

Die Prüfung der Entwürfe, sowie die oberste Bauleitung im Reichsmarineamt wurde durch den Geheimen Oberbaurat Wüerst ausgeübt. Die Entwurfbearbeitung, die Anfertigung der Teilzeichnungen auch für die Einrichtungsgegenstände und die Oberleitung der Bauausführung lagen in den Händen des Intendantur- und Baurats Kelm in Kiel. Mit der örtlichen Bauleitung waren von höheren Baubeamten teils nach-, teils nebeneinander betraut die Regierungsbaumeister Arnold, Bauder, Müller, Merl und der Regierungsbauführer Schulenburg.

Mit der Ausführung der Bauarbeiten wurde im Sommer 1906 begonnen. Die Fertigstellung erfolgte bis 1. Oktober 1910.

Neubauten des St. Jürgen-Asyles für Geistes- und Nervenkranke in Ellen bei Bremen.

Erbaut von der Hochbauinspektion I, Bremen: Baurat Weber.

Mitgeteilt vom Baumeister Ohnesorge.

Abb. 1. Pflegestation für 50 Frauen. Ansicht von Südosten.

Die im April des Jahres 1904 der Benutzung übergebene Bremische Irrenanstalt, das St. Jürgen-Asyl in Ellen bei Bremen (siehe Zeitschrift für Bauwesen, Jahrg. 1905, S. 43), bot zunächst Platz zur Unterbringung von 352 Kranken. Infolge des in den nächsten Jahren anhaltenden raschen Aufblühens des bremischen Staatswesens vermehrte sich natürlich auch die Zahl der Kranken, und da das St. Jürgen-Asyl schon bei seiner Eröffnung voll belegt war, trat bald die Notwendigkeit einer Vergrößerung der Anstalt ein. Um dem schnell wachsenden Bedürfnisse zu genügen und der allmählich schon fühlbar werdenden Überfüllung der Anstalt abzuhelfen, wurde seit dem Herbste 1907 nacheinander mit dem Bau eines Hauses für geisteskranke Verbrecher (Verwahrungshaus benannt), einer offenen Station für 30 Frauen und je einer Pflegestation für 50 Männer und 50 Frauen begonnen (vgl. Lageplan, Abb. 7). Von diesen waren die beiden erstgenannten Häuser bereits Ende des Jahres 1909 fertiggestellt, während die beiden Pflegestationen erst im März letzten Jahres in Benutzung genommen worden sind. Nach Vollendung dieser vier Neubauten kann die Anstalt jetzt etwa 512 Kranke aufnehmen, womit erst die volle Ausnutzung der für diese Zahl bemessenen Sammelanlagen (Heizung, Beleuchtung, Kanalisation und Wasserversorgung) erreicht worden ist.

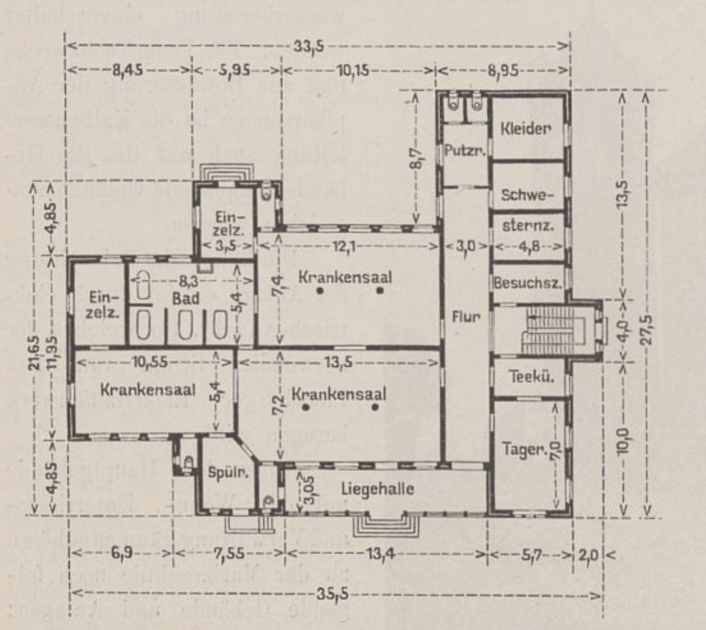


Abb. 2. Pflegestation für 50 Frauen oder Männer. Erdgeschoß. (Vgl. *B* und *C* im Lageplan, Abb. 7.)

Im folgenden sollen die neuen Stationen näher besprochen werden. Die offene Station für 30 Frauen (Abb. 3 bis 6), ein Teil der sogenannten Kolonie, liegt auf der Westseite des Anstaltsgeländes in der Nähe der Überwachungs- und der Pflegestation für Frauen (Abb. 7). Sie ist zur Aufnahme von Leichtkranken und Genesenden bestimmt und daher als Landhaus nach der Offentüranlage gebaut. Sie enthält im Erdgeschoß neben den Krankenzimmern einen größeren Kasino-

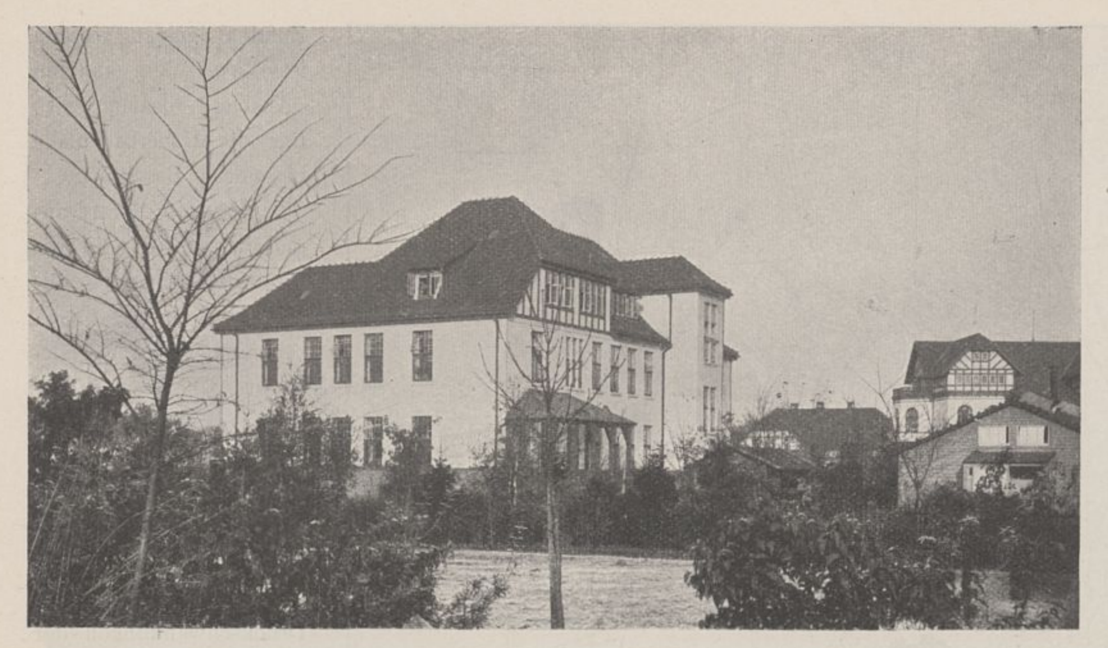


Abb. 3. Ansicht von Südosten.

Abb. 3 bis 5. Offene Station für 30 Frauen.

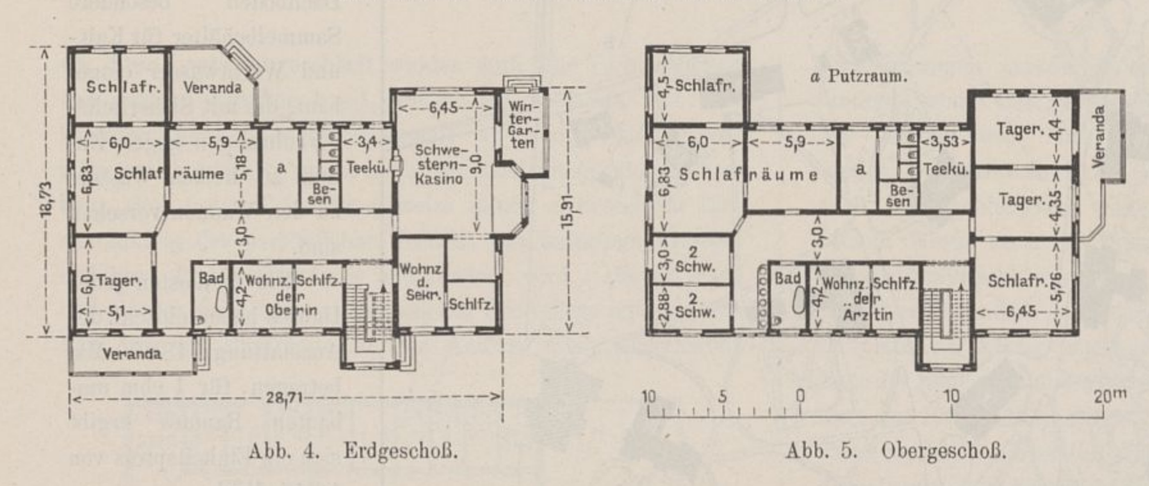


Abb. 4. Erdgeschoß.

Abb. 5. Obergeschoß.

raum für die Schwestern der Anstalt (Abb. 4), eine Wohnung für eine Oberin und für eine Sekretärin. Der Auf- und Ausbau des Hauses (Abb. 3 u. 6) entspricht in der Ausführung im wesentlichen dem der früheren Bauten, nur im Äußeren macht sich das Bestreben nach größerer Einfachheit geltend. Die Baukosten haben einschl. der Ausstattung 105150 Mark betragen. Das Kubikmeter umbauten Raumes stellt sich auf 15,84 Mark.

Die beiden neuen Pflegestationen für 50 Männer und 50 Frauen (Abb. 1 u. 2) dienen zur Unterbringung von Schwerkranken und Bettlägerigen. Ein Hauptheilmittel für diese Kranken bildet die auch sonst in der Irrenpflege in ausgedehntem Maße zur Anwendung kommende Bäderbehandlung, und dieser Umstand war in erster Linie maßgebend für die Grundrißgestaltung, die übrigens bei beiden Häusern genau dieselbe ist.

Im Erd- und Obergeschoß lagern sich demnach je drei Krankensäle, zwei Einzelzimmer und ein Spülraum für schmutzige Wäsche um einen großen Baderaum, in dem vier Badewannen stehen (Abb. 2). Durch einen Flurgang von diesen, ausschließlich für Kranke bestimmten Räumen getrennt liegen im Querflügel außer dem Treppenhause mit dem Haupteingang die Tageräume, Teeküchen, Kleiderräume, Putzräume, Aborte, Zimmer für das Pflegepersonal und ein Besuchszimmer. Im Dachgeschoß sind noch außer einer Werkstätte weitere Räume für das Pflegepersonal und eine Kleiderablage untergebracht.

Die Pflegestation für Frauen liegt westlich hinter dem Haus für unruhige Frauen (Haus VI in Abb. 7), die Männer-

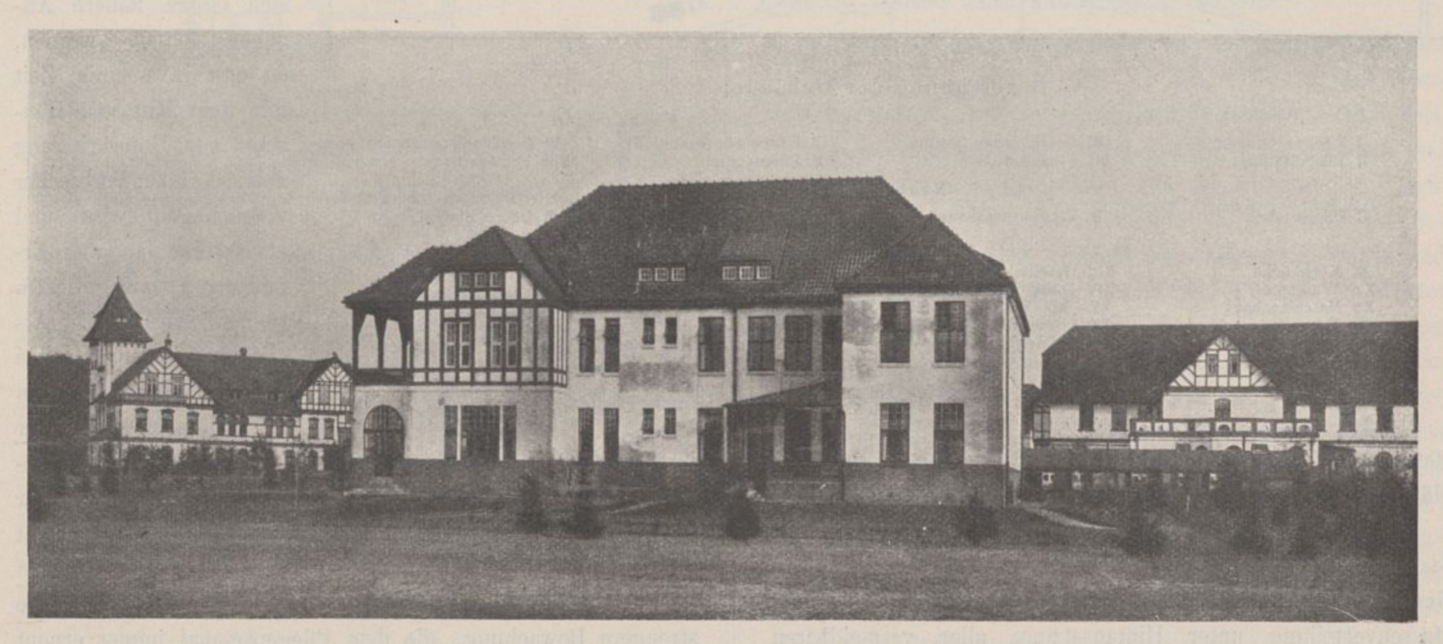
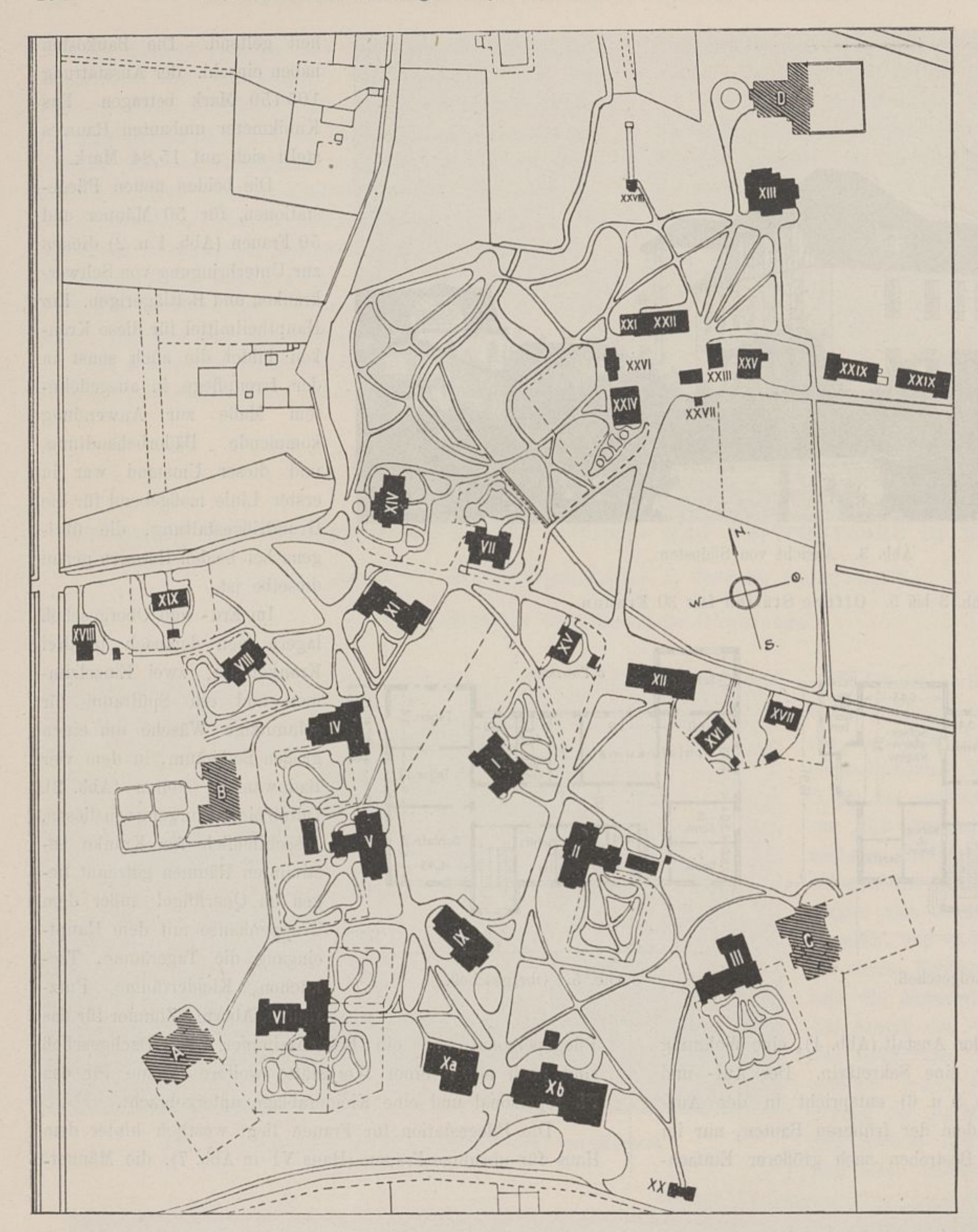


Abb. 6. Offene Station für 30 Frauen. Ansicht von Westen.



Bezeichnung der Gebäude:

Männerseite.		Frauenseite.	
I Überwachungsstation	III Geschlossene Station	IV Überwachungsstation	VI Geschlossene Station
II Pflegestation	VII Pensionshaus	V Pflegestation	VIII Pensionshaus.
Neubauten.			
C Pflegestation	D Verwahrungshaus	A Pflegestation	B Offene Station.
Nebenanlagen.			
IX Kochküche	XIII Gesellschaftshaus	XXII Kuhstall	XXVI Wagenschuppen
Xa Wäscherei	XIV Direktorwohnhaus	XXIII Schuppen	XXVII Pumpenhaus
Xb Maschinenhaus	XV—XIX Wärterwohnungen	XXIV Pferdestall und offene Station	XXVIII Kegelhäuschen
XI Verwaltungsgebäude	XX Leichenhaus	XXV Scheune	XXIX Schweineställe.
XII Bäckerei und Werkstatt	XXI Hofmeisterwohnung		

Abb. 7. Lageplan.

station nordöstlich hinter dem Haus III (Station für unruhige Männer).

Bezüglich der Bauart der Häuser gilt das für die offene Station Gesagte, nur mit der Maßgabe, daß für die äußere Gestaltung noch mehr Gewicht auf gute Gruppierung und Massenverteilung unter Hintansetzung aller vermeidbaren Zutaten gelegt worden ist. Von dem inneren Ausbau beansprucht nur die Dauerbadanlage besondere Beachtung.

Diese ist derart angelegt, daß die in die Fußböden einige Zentimeter eingelassenen schweren Fayencebadewannen in jedem Baderaume von einer verschließbaren Tischstation aus, die Zufluß, Abfluß und Wärme regelt, bedient werden. Um die Wasserzuleitung von den Druckschwankungen der Zentralanlage unabhängig zu machen, sind auf dem Dachboden besondere Sammelbehälter für Kalt- und Warmwasser eingebaut, die mit Sicherheitsvorkehrungen gegen Zufluß zu heißen Wassers zu den Wannen versehen sind.

Die Baukosten jedes Hauses haben einschl. der Ausstattung 148000 Mk. betragen, für 1 cbm umbauten Raumes ergibt sich ein Einheitspreis von 16,45 Mark.

Von erhöhter Bedeutung für die Anstalt war die Erbauung des Verwahrungshauses (Abb. 8 bis 10), über welches sich einige nähere Angaben lohnen werden, da erst in neuerer Zeit mit dem Bau von Häusern zur Unterbringung geisteskranker Verbrecher vorgegangen wird und noch keine längeren Erfahrungen auf diesem Gebiete vorliegen. Als schwerer Übelstand wurde es schon in der alten Anstalt, noch mehr aber im neuen St. Jürgen-Asyl empfunden, daß für die geisteskranken Verbrecher keine eigene Abteilung vorhanden war und daß sie daher auf die verschiedenen Stationen verteilt werden mußten. Macht schon die Mehrzahl dieser Kranken kein Hehl aus ihrem Vorleben, so wird auch durch die strengere Bewachung, die dem Pflegepersonal immer erneut

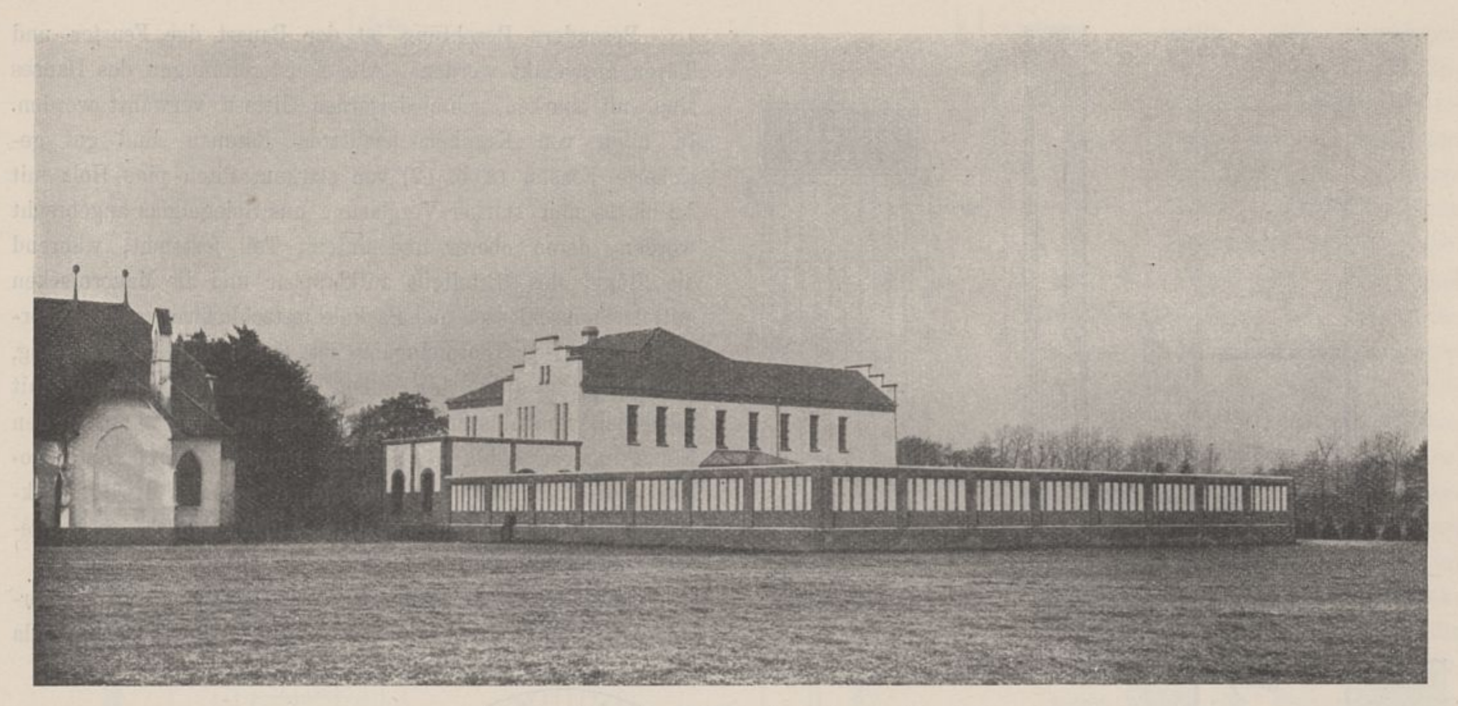


Abb. 8. Verwahrungshaus. Ansicht von Südosten.

für diese Leute eingeschärft werden muß, ihr Verbrechertum den anderen Kranken kund, welche die Tatsache, mit Verbrechern zusammen untergebracht zu sein, vielfach sehr schmerzlich berührt, um so mehr, als die Irrenanstalt mit ihrer trotz aller freien Behandlungsweise häufig notwendigen Einschränkung der persönlichen Freiheit von manchem Kranken ohnehin oft als Gefängnis empfunden wird. Hierzu kam, daß die den Grundsätzen der neueren Irrenpflege entsprechenden freieren Einrichtungen der Anstalt nicht ausreichten,

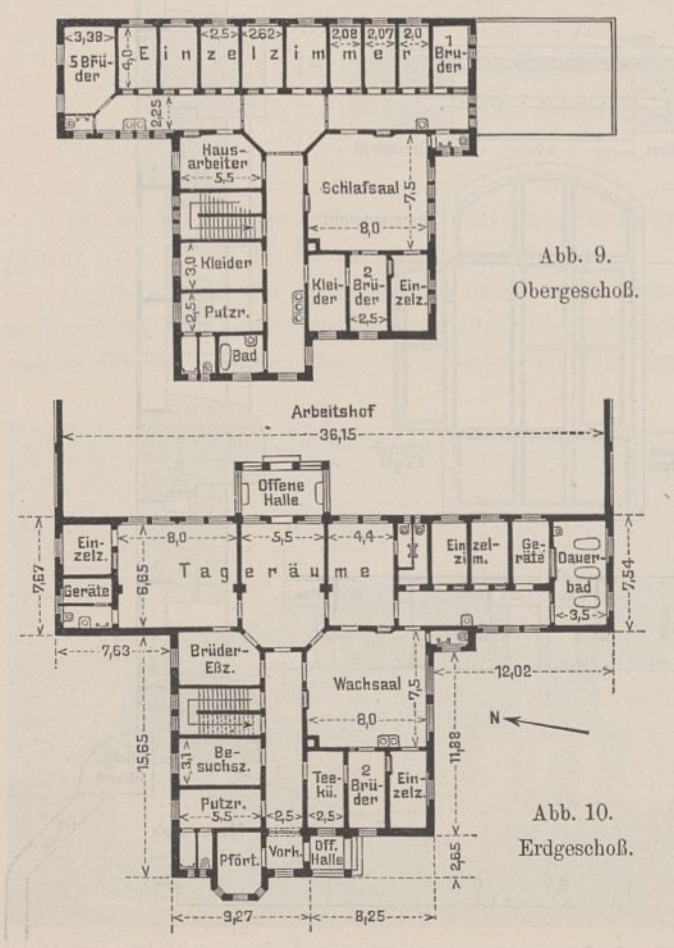


Abb. 9 u. 10. Verwahrungshaus. 1:500.

Entweichungen gerade derart gefährlicher Kranker zu verhindern, womit den schlimmsten Unzuträglichkeiten Tür und Tor geöffnet war. Das Bedürfnis nach einer besonderen Station für verbrecherische Geisteskranke machte sich dann auch bald gebieterisch geltend. Da das Verwahrungshaus seinem Wesen nach nur eine Nebenanlage der Anstalt ist und es erwünscht war, seine Zugehörigkeit äußerlich nicht besonders kenntlich zu machen, so wurde schon für den Bauplatz ein etwas abgelegener Teil in der nordöstlichen Ecke des Ellener Geländes gewählt (*D* im Lageplan Abb. 7). Hier liegt das Haus völlig getrennt von der übrigen Anstalt, durch das vorgelagerte Gesellschaftshaus den Blicken von und zu dem Innern der Anstalt entzogen und doch wiederum leicht erreichbar. Mehr wie die Lage, gibt das Äußere mit seinen unvermeidlichen Fenstergittern, seiner einfachen Architektur und dem als weiteren Gegensatz zu den übrigen Anstaltsbauten gewählten flachen Schieferdach dem Hause sein besonderes und ernstes Gepräge (Abb. 8). Etwa 30 Kranke (Männer) können darin untergebracht werden.

Die Anordnung der Räume ist aus den Grundrissen (Abb. 9 u. 10) zu ersehen. Der im Erdgeschoß an der Westseite liegende Eingang ist durch ein Pförtnerzimmer gesichert, an welches sich zunächst die erforderlichen Nebenräume und das Treppenhaus anschließen. Die Anordnung der Tageräume und des Wachsaales erfolgte derart, daß die Beaufsichtigung möglichst einfach und allgemein wurde und in Notfällen eine schnelle Zusammenziehung der Wärter ermöglicht wird. Durch die Lage der meisten Einzelzimmer und der sonst für Kranke bestimmten Räume nach dem durch eine glatte, außen 4 m, innen infolge Anlage eines Grabens 5 m hohe Mauer besonders gesicherten Garten ist eine wesentliche Vereinfachung der Bewachung und der Sicherung erzielt. Die nach dem Obergeschoß führende Betontreppe hat eine durchgehende steinerne Mittelwange erhalten. Die Grundrißgestaltung des Obergeschosses erfolgte nach den gleichen Grundsätzen wie die des Erdgeschosses. Aborte und Baderäume sind in geeigneter Anzahl und Größe

Besondere Beachtung ist der Bauart der Fenster und Türen geschenkt worden. Alle Fensteröffnungen des Hauses sind mit starken schmiedeisernen Gittern verwahrt worden. In allen von Kranken benutzten Räumen sind gut gesicherte Fenster (Abb. 12) von starkem Pitch-pine-Holz mit 12 bis 15 mm starker Verglasung aus Spiegelglas angebracht worden, deren oberer und unterer Teil feststeht, während die Flügel des Mittelteils aufklappbar und in Mauernischen mittels Steinschlosses und Basküle festschließbar gemacht worden sind. Der Haupteingang ist durch ein im Flurgang, die Gartentür durch ein außen angebrachtes Gittertor mit Sicherheitsverschlüssen geschützt worden. Die Türen zu den Einzelzimmern (Abb. 13) sind als doppelte Türen aus Carolina-pine-Holz und Eichenholzfurnieren mit Geldschrankverschlüssen und Sicherungen in Winkeleisenrahmen hergestellt worden.

Das Haus hat eine selbständige Niederdruckwarmwasserheizungs- und Warmwasserversorgungsanlage erhalten, da

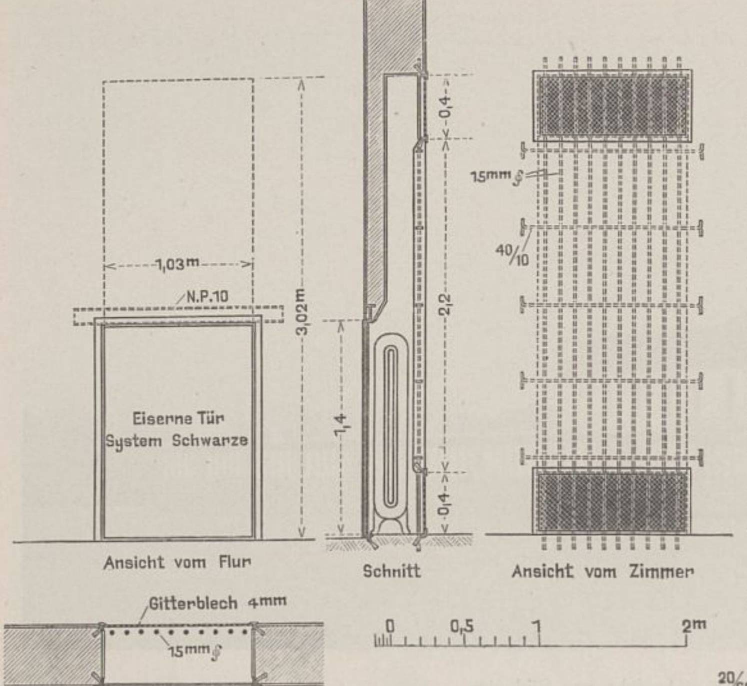


Abb. 11. Heizungsnische im Verwahrungshaus.

in beiden Stockwerken angeordnet. Vom Obergeschoß kann man zum Dachboden nur mittels einer Leiter durch eine gesicherte Luke von einem Pflegerzimmer aus gelangen. Wäre der Dachboden durch eine Treppe zugänglich und für regelmäßigen Gebrauch nutzbar gemacht worden, so würde sich dadurch eine günstige Gelegenheit zum Entweichen geboten haben. In dem nur von außen zugänglichen Kellergeschoß sind die für Heizung und Kohlen erforderlichen Räume untergebracht. Der übrige Teil des Hauses ist nur mit einem bekriechbaren Hohlraum unterkellert, in welchem die Rohrleitungen verlegt sind.

Die Decken über dem Keller- und dem Erdgeschoß sind Betondecken zwischen eisernen I-Trägern, während die Decke des Obergeschosses durch die Dachbalkenlage gebildet wird, die statt Schalung und Einschub an der Unterseite mit einer Kühnschen Betondecke verstärkt ist, wodurch die erforderliche Sicherheit gegen Ausbruch geschaffen wurde.

Als Fußboden erhielten die Vorhallen, Baderäume, Flure und Nebenräume Terrazzoestrich, die Aborte Torfitplatten, die sich im inneren Betriebe der Anstalt besonders gut bewährt haben. Um in den Krankenräumen die Möglichkeit zu haben, die Möbel am Fußboden befestigen zu können, wurde für die Einzelzimmer Buchenholz-Parkettfußboden in Asphalt und in den übrigen Zimmern Pitch-pine-Riemenfußboden auf Lagerhölzern verwendet.

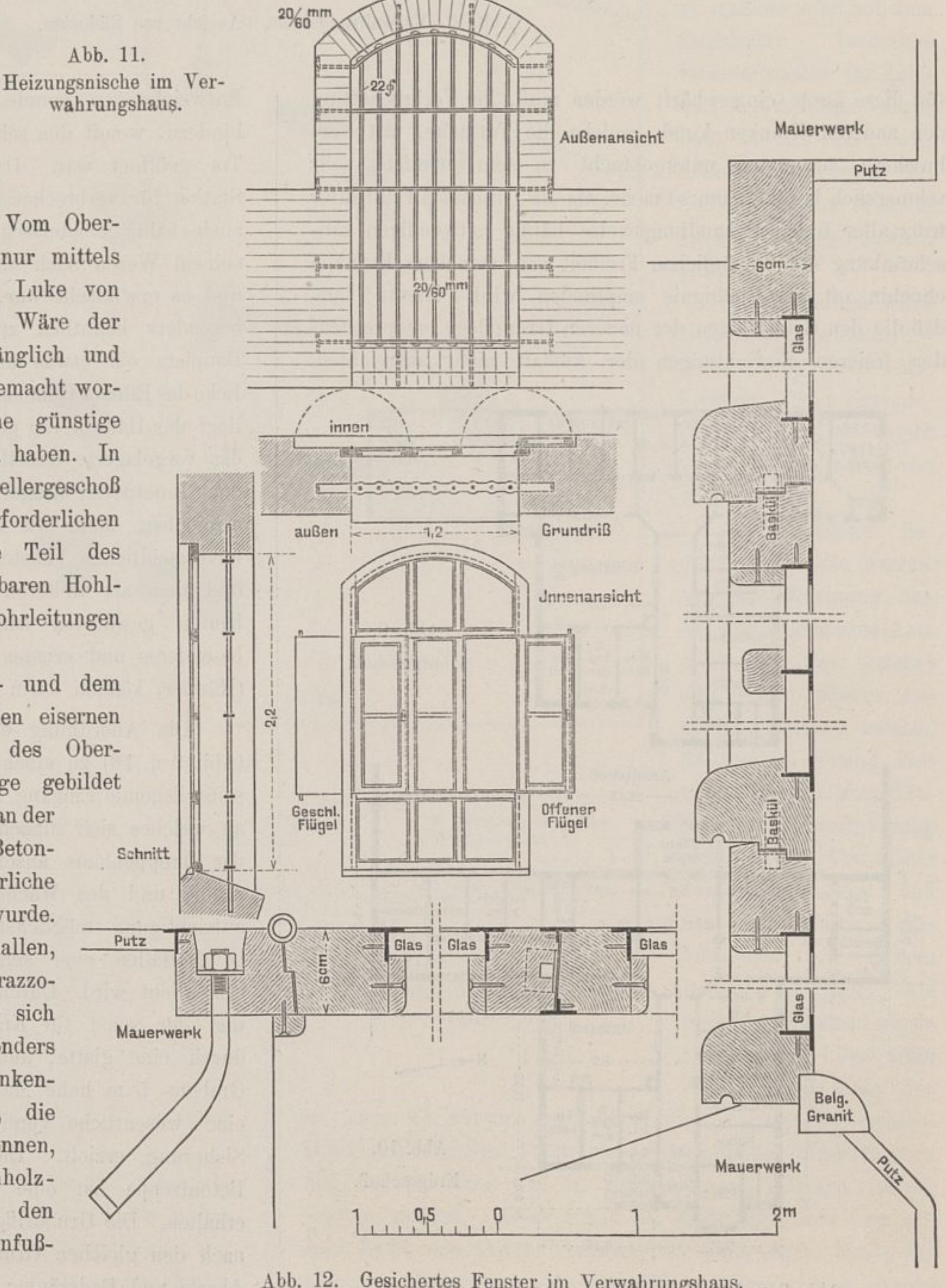


Abb. 12. Gesichertes Fenster im Verwahrungshaus.

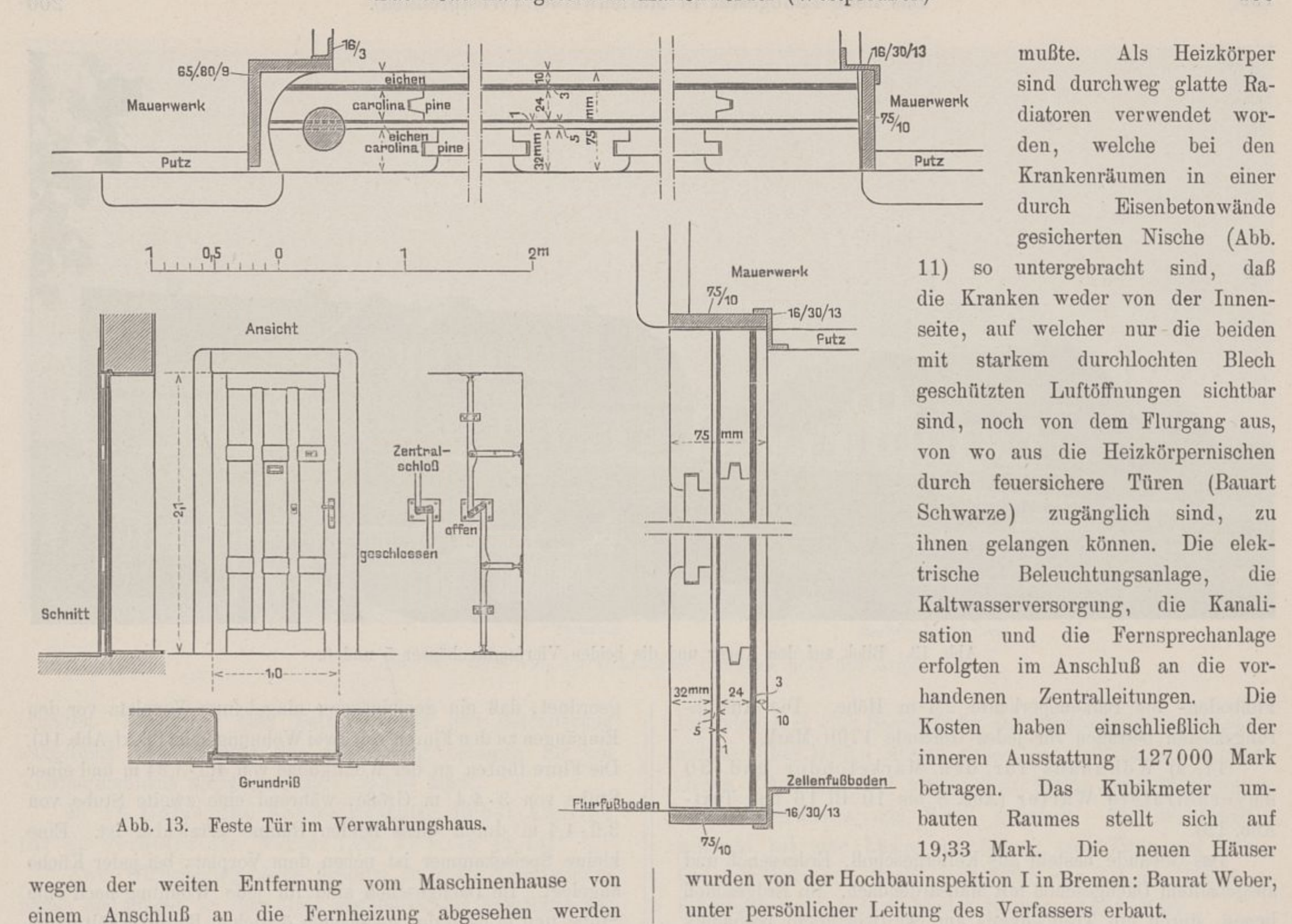


Abb. 13. Feste Tür im Verwahrungshaus.

wegen der weiten Entfernung vom Maschinenhause von einem Anschluß an die Fernheizung abgesehen werden mußte. Als Heizkörper sind durchweg glatte Radiatoren verwendet worden, welche bei den Krankenräumen in einer durch Eisenbetonwände gesicherten Nische (Abb. 11) so untergebracht sind, daß die Kranken weder von der Innenseite, auf welcher nur die beiden mit starkem durchlochten Blech geschützten Luftöffnungen sichtbar sind, noch von dem Flurgang aus, von wo aus die Heizkörpernischen durch feuersichere Türen (Bauart Schwarze) zugänglich sind, zu ihnen gelangen können. Die elektrische Beleuchtungsanlage, die Kaltwasserversorgung, die Kanalisation und die Fernsprechanlage erfolgten im Anschluß an die vorhandenen Zentralleitungen. Die Kosten haben einschließlich der inneren Ausstattung 127000 Mark betragen. Das Kubikmeter umbauten Raumes stellt sich auf 19,33 Mark. Die neuen Häuser wurden von der Hochbauinspektion I in Bremen: Baurat Weber, unter persönlicher Leitung des Verfassers erbaut.

Das neue Landgestüt in Marienwerder (Westpreußen).

(Mit Abbildungen auf Blatt 14 bis 18 im Atlas.)

(Schluß.)

10. a) Wohnhaus für den Gestütsrechnungsführer (Abb. 17 bis 19 Bl. 16 und Text-Abb. 12).

Im Erdgeschoß des Gebäudes sind durch einen Vorbau an der südöstlichen Giebelseite die Geschäftsräume zugänglich, welche aus den Dienstzimmern des Direktors und des Rendanten mit Tresor bestehen. Der Tresorraum ist diebes- und feuersicher mit Eisenbewehrung in den Wänden, dem Betonfußboden und der Betondecke ausgeführt. An die Geschäftsräume schließt sich die Wohnung des Rendanten an, welche an der Rückseite des Gebäudes einen besonderen Eingang und von diesem erreichbar im Erdgeschoß drei Zimmer und Küche, im ausgebauten Dachgeschoß ein Zimmer, Kammern und Nebengelaß hat. Nur das Treppenhaus, die Küche mit Nebenraum und ein Zimmer sind unterkellert. Die Höhe der Stockwerke von Fußboden- bis Fußbodenoberkante mißt im Kellergeschoß 2,2 m, im Erdgeschoß 3,5 m, im Dachgeschoß 2,9 m. Die Ausführungskosten betragen 23500 Mark.



Abb. 12. Wohnhaus des Rechnungsführers.

b) Zwei Wirtschaftsgebäude für den Rechnungsführer und den Sattelmeister (Abb. 19 Bl. 16) enthalten je eine Waschküche, welche zugleich als Futterküche dient und von außen sowie vom Stallraum zugänglich ist, einen Stallraum mit zwei massiven Schweinebuchten, einen in halber Höhe durch Zwischendecke geteilten Raum für Enten usw. und Hühner, ferner ein Holzgelaß mit Bretterwänden und im Dachboden den Futterraum. Der Fußboden ist aus Beton bis auf den mit Sandschüttung im Holzgelaß. Die Stallgebäude haben 8,45 m Länge und 4,62 m Tiefe, von

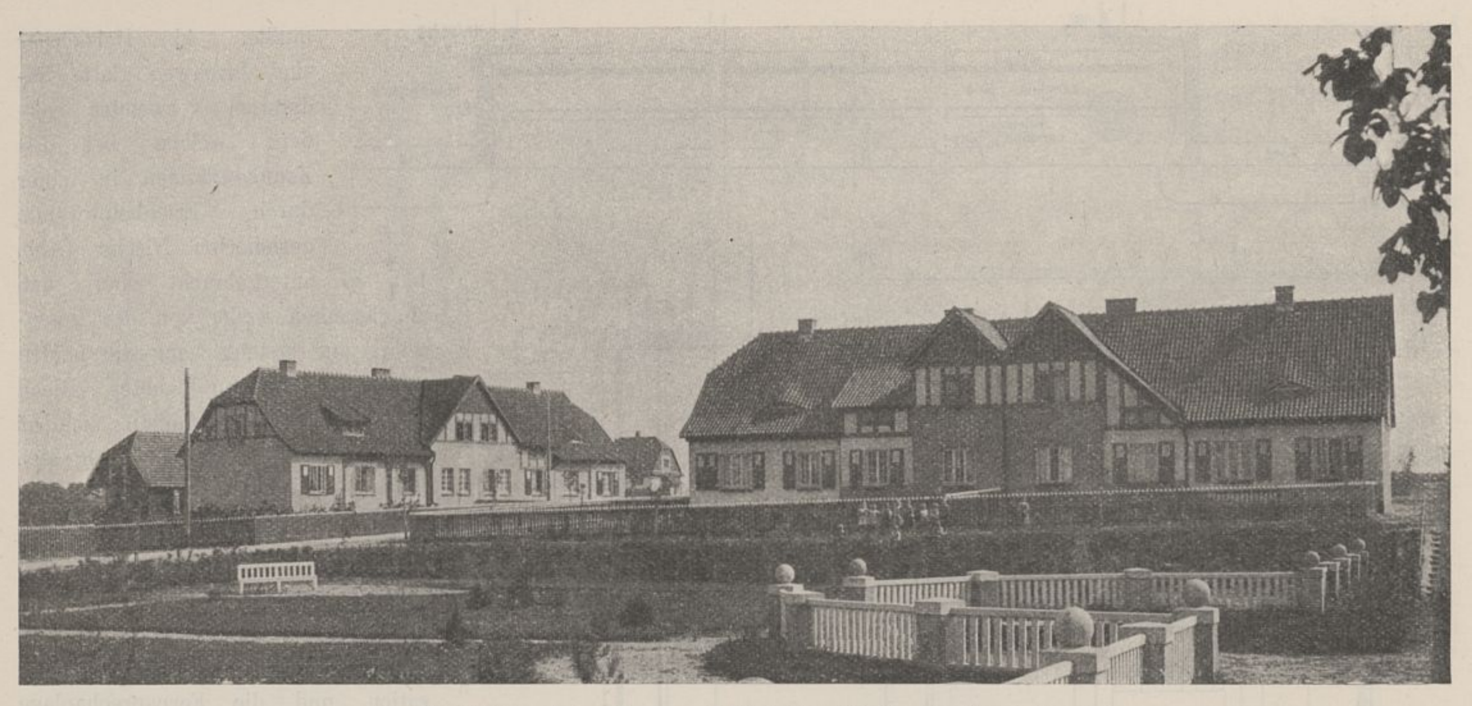


Abb. 13. Blick auf den Anger und die beiden Vierfamilienhäuser 5 und 6.

Fußboden- bis Balkenoberkante 2,4 m Höhe. Die Ausführungskosten betragen für jedes Gebäude 1700 Mark.

11. a) Wohnhaus für den Marketender und 30 unverheiratete Wärter (Abb. 8 bis 10 Bl. 16 und Text-Abb. 15).

Das Gebäude besteht aus Kellergeschoß, Erdgeschoß und ausgebautem Dachgeschoß mit Mansardendach. Im Erdgeschoß liegen, durch ein Treppenhaus am Nordwestflügel besonders zugänglich, der Speisesaal von 5 · 11,70 m Größe und zwei Tageräume für die unverheirateten Wärter; ferner befindet sich dort die durch den Treppenflur an der Hinterfront zugängliche Wohnung des Marketenders, welche aus Küche mit Speisekammer sowie fünf Wohnräumen besteht, und deren breiter Mittelflur vor dem Speisesaal als Ausschankraum usw. ausgebildet ist. Im Dachgeschoß sind beiderseits eines 2,2 m breiten Flurs acht Zimmer mit je vier Betten und dem nötigen Zubehör als Schlafraum für die unverheirateten Wärter hergerichtet. Zwei Zimmer im Dachgeschoß sind von jenen getrennt als Krankenzimmer vorgesehen. Im Kellergeschoß ist mit getrennten Zugängen das Bad für die Männer und Frauen eingerichtet. Die übrigen Kellerräume werden zu hauswirtschaftlichen Zwecken verwendet. Die Höhe von Oberkante bis Oberkante Fußboden beträgt bei dem Kellergeschoß 2,6 m, bei dem Erdgeschoß 3,55 m und dem Dachgeschoß 3,1 m. Die Bauart ist wie bei dem Hause des Rechnungsführers durchgeführt. Die Ausführungskosten betragen 32 600 Mark.

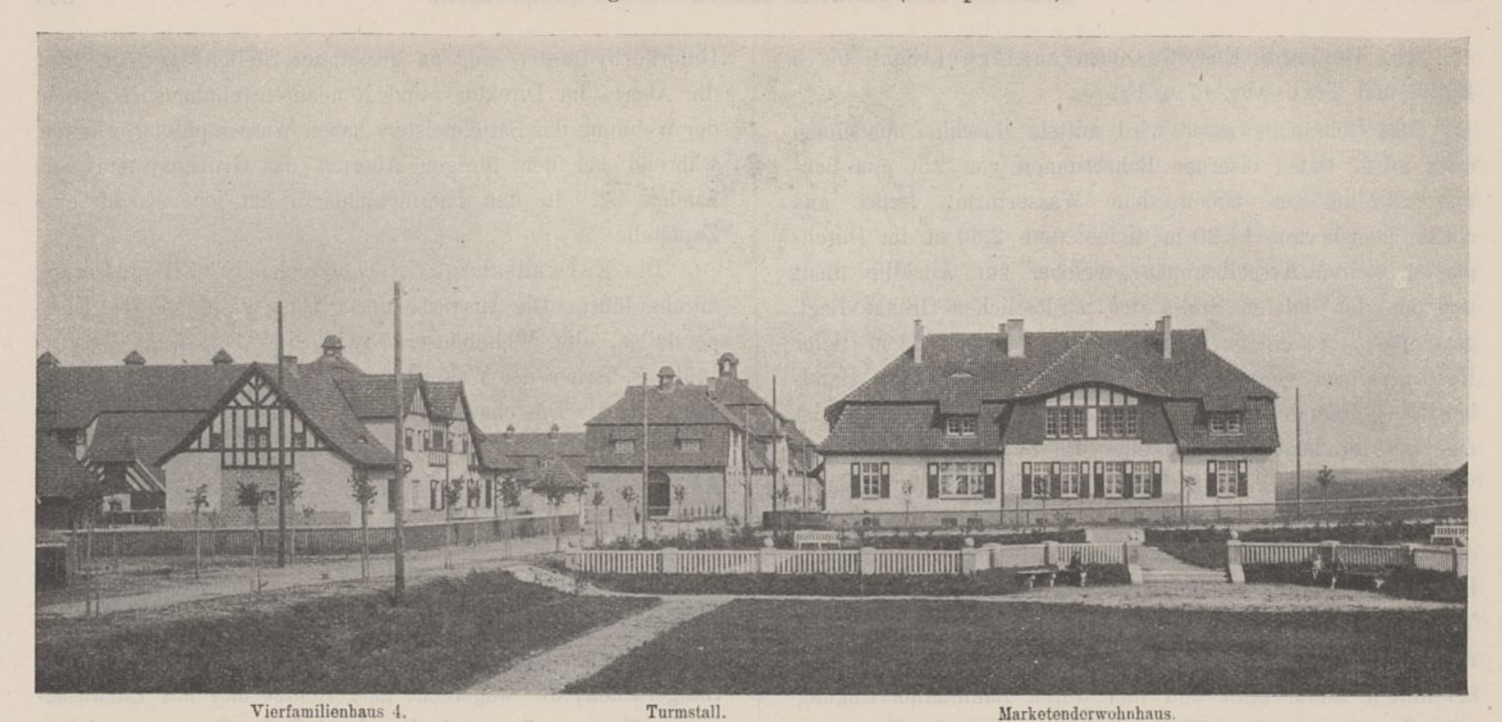
b) Das Wirtschaftsgebäude für den Marketender usw. (Abb. 11 u. 12 Bl. 14) enthält Stallraum für Kleinvieh, ferner als Anbauten mit Bretterwänden ein Holzgelaß und vier Abortzellen nebst Standabort, welche für den Marketender und die Wärter bestimmt sind. Die Ausführungskosten einschl. für die Anbauten belaufen sich auf 2660 Mark.

12. a) Acht Vierfamilienhäuser (Abb. 1 bis 7, 11 u. 12 Bl. 16, Abb. 3 Bl. 17, Abb. 1 bis 3 Bl. 18 und Text-Abb. 13 u. 15).

Die Gebäude haben durchweg eine Länge von 28,13 m und eine Tiefe von 9,25 m. Die Wohnungen sind so angeordnet, daß ein gemeinsamer eingebauter Vorplatz vor den Eingängen zu den Fluren von zwei Wohnungen ist (Text-Abb. 16). Die Flure führen zu der Wohnküche von 4,5 · 3,84 m und einer Stube von 3 · 4,4 m Größe, während eine zweite Stube von 3,6 · 4,4 m durch diese beiden Räume erreichbar ist. Eine kleine Speisekammer ist neben dem Vorplatz bei jeder Küche angelegt. Im Dachgeschoß sind für jede Wohnung noch eine Stube und je nach den gegebenen örtlichen Raumverhältnissen Nebengelasse ausgebaut. Auch hat jede Familie eine Räucherkammer erhalten. Die Gebäude sind nur an der Hinterseite bis zur Mittelwand unterkellert. Da nach den gemachten Erfahrungen die Familien der Wärter den größten Teil des Tages in der Küche zubringen und dort auch zu essen pflegen, so ist sie so groß gewählt worden, daß sie ohne Nachteil auch zu Wohnzwecken mit verwendet werden kann. Diese Einrichtung hat sich bisher gut bewährt. Die Geschoßhöhen von Oberkante zu Oberkante Fußboden betragen im Keller 2,2 m, im Erdgeschoß 3,1 m und im Dachgeschoß 2,8 m. Die Bauart ist einfach und entsprechend dem Marketenderhause. Nur der Vorraum und Flur haben massiven Fußboden. Die Wohn- und Küchenräume haben Dielung



Abb. 14. Hofseite des Dreifamilienhauses.



Vierfamilienhaus 4. Turmstall. Marketendorwohnhaus.

Abb. 15. Blick von der Graudenzer Chaussee über den Anger.

erhalten. Im Keller sind Betonfußboden und Betondecken ausgeführt. Die Kosten der Ausführung betragen für ein Vierfamilienhaus durchschnittlich 20200 Mark.

b) 16 Holz- und Schweineställe nebst Aborten für 32 verheiratete Wärter (Abb. 15 u. 16 Bl. 14).

Zwei Wirtschaftsgebäude gehören zu jedem Vierfamilienhause und liegen an dem Hofe gegenüber den Eingängen der zugehörigen Wohnungen. Ein Gebäude enthält für zwei Familien Räume, welche mit getrenntem Zugang aus Holzgelaß, Kleinviehstall und Abort bestehen. Der Stall hat Betonfußboden und eine Balkendecke mit Bretterbelag und Lehmauftrag. Die beiden Aborte haben eine gemeinsame massive Grube. Daneben sind hinter dem Stalle zwei Dungstätten und Aschenkästen aus Beton angelegt. Das Wirtschaftsgebäude hat eine Länge von 6,5 m, eine Tiefe von 6,2 m und bis Oberkante Decke eine Höhe von 2,4 m. Die Ausführungskosten eines Gebäudes betragen 1650 Mark.



Abb. 16. Vorhalle mit Eingängen zu zwei Familienwohnungen.

13. a) Dreifamilienhaus (Abb. 13 bis 16 Bl. 16, Abb. 3 Bl. 17, Abb. 1 Bl. 18 und Text-Abb. 14).

Das Gebäude hat eine Länge von 17,35 m, eine Tiefe von 9,25 m und enthält im Erdgeschoß, durch besondere Vorhallen mit anschließendem Flur zugänglich, zwei Familienwohnungen wie bei den Vierfamilienhäusern. Treppen auf den Fluren führen zu den zugehörigen Giebelzimmern im Mansardengeschoß, das ausgebaut und für eine Wohnung des Oberwärters mit vier Zimmern, einer Wohnküche und Bodenkammer hergerichtet ist. Zu jeder Wohnung gehört eine Räucherkammer. Nur der hintere Teil des Gebäudes bis zur Mittelwand ist unterkellert. Die Bauart ist ebenso wie bei den Vierfamilienhäusern durchgeführt. Die Kosten der Ausführung betragen 16550 Mark.

b) Das Wirtschaftsgebäude für drei verheiratete Wärter (Abb. 13 u. 14 Bl. 14) liegt am Hofe dem mittleren Eingange zum Wohnhause gegenüber und enthält im mittleren Teile den Kleinvieh- und Holzstall für den Oberwärter, ferner an der Rückseite drei Aborte und an den Seiten die Stallungen für die beiden Wärter. Sie sind so eingerichtet wie bei den Vierfamilienhäusern. Das Gebäude hat eine Länge von 11 m, eine Tiefe von 6,12 m und kostet rund 2710 Mark.

14. Zwei Waschhäuser. Die Gebäude haben je zwei Waschküchen. Jede Waschküche hat einen besonderen Zugang von außen. Der Fußboden besteht aus Beton mit Gefälle nach der Bodenentwässerung. Um die Waschhäuser befinden sich die Bleichen, welche zugleich als Trockenplatz benutzt werden und entsprechend mit Pfählen besetzt sind. Die Ausführungskosten eines Waschhauses betragen 2100 Mark.

15. Be- und Entwässerungsanlage (Abb. 6 bis 9 Bl. 15 und Text.-Abb. 17 u. 18).

Das Gebrauchswasser wird mittels Maschine aus einem etwa 26 m tiefen eisernen Bohrbrunnen von 250 mm lichtem Durchmesser neben dem Wasserturm, ferner aus einem gemauerten 14,20 m tiefen und 2,60 m im Durchmesser weiten Kesselbrunnen, welcher zur Aushilfe dient und an der tiefsten Stelle der nordöstlichen Grenze liegt, gewonnen. Außerdem ist als Ersatz noch ein 33 m tiefer Röhrenbrunnen von 102 mm i. L. Durchmesser mit Handbetrieb vorhanden. Über dem Hauptröhrenbrunnen ist eine 3,85 m hohe Brunnenstube unter der Erde angelegt, welche von dem 2,05 m höher liegenden untersten Raum des Wasserturms zugänglich und mit einer Betonsohle versehen ist. Der Antrieb des Pumpwerkes erfolgt für gewöhnlich durch den auf der Plattform des Wasserturms stehenden Windmotor von $8^1/_2$ m Durchmesser, dessen Gestänge senkrecht durch die Mitte des Turmes bis zum untersten, vorher erwähnten Raum läuft und hier durch Zahnradübertragung mit einer wagerechten Welle das Pumpwerk in Bewegung setzt. Für die windstille Zeit ist als Ersatzkraft zum Antrieb ein Naphthalinmotor von 22 PS Höchstleistung im Maschinenhause neben dem Wasserturm vorgesehen. Dieser Motor treibt durch ein Vorgelege die Tiefbrunnenpumpe und wird auch ebenso wie der Windmotor zur Erzeugung elektrischer Kraft verwendet. Er ist so groß gewählt, daß das Pumpen und die Erzeugung der Elektrizität zu gleicher Zeit erfolgen kann, was bei dem Windmotor nur bei starkem Winde möglich ist.

Das Tiefbrunnenpumpwerk fördert bei einer Windgeschwindigkeit von 5 bis 6 m durch ein Druckrohr von 80 mm Durchmesser 6,5 cbm Wasser in der Stunde. Das Wasser wird wegen seines Eisengehaltes zunächst in das über dem Hochbehälter im Turm befindliche Enteisenungsbecken gefördert und gelangt dann durch eine Reinwasserkammer in den Hochbehälter von etwa 30 cbm Nutzinhalt. In dem untersten Geschoß des Wasserturms, welches Keller- und Erdgeschoß umfaßt, ist ein eiserner Ofen unter einem bis zum obersten Stockwerke führenden Kanal mit unterer rauchfangartiger Endigung aus Eisenblech aufgestellt worden, um bei starkem Frostwetter durch Zuführung warmer Luft das Einfrieren des Wassers in den durch den Kanal gehenden Hauptleitungen und in dem Hauptbehälter zu verhindern.

Das angebaute Maschinenhaus mit sichtbarem Dachstuhl enthält außer dem genannten Naphtalinmotor die Maschinenanlage zur Erzeugung der Elektrizität. Die Pumpe im Aushilfsbrunnen wird durch einen Elektromotor von 3 PS, welcher in einem massiven Häuschen über dem Brunnen untergebracht ist, angetrieben. Der Motor ist durch eine Freiluft-Drahtleitung mit der elektrischen Zentrale verbunden. Nachdem das Wasser in den Hauptbehälter des Wasserturms gelangt ist, wird es von dort durch senkrechte gußeiserne Verbrauchsleitung von 100 mm Durchmesser durch den Wasserturm und weiter in Erdleitungen von 40 bis 100 mm l. Durchmesser seinen Verwendungsstellen zugeführt.

Es sind angeschlossen: Die drei großen Ställe, das Reithaus, die Schmiede, das Direktorwohnhaus mit Gehöft, das Rendantenwohnhaus, die Familienhäuser, das Marketenderhaus mit Männer- und Frauenbad und die Waschhäuser. Unterflurhydranten sind an geeigneten Stellen angelegt. Nur die Aborte im Direktor- und Rendantenwohnhause sowie in der Wohnung des Sattelmeisters haben Wasserspülung erhalten, während bei den übrigen Aborten das Grubensystem vorhanden ist. In den Familienhäusern hat jede Küche eine Zapfstelle.

Die Entwässerung ist entsprechend der Bewässerung durchgeführt. Die Ausgüsse der großen Ställe und des Klepperstalles, alle Wohnhäuser sowie die Aborte mit Wasserspülung, ferner der Wasserturm mit Maschinenhaus sind angeschlossen. Die chaussierten Straßen werden in die Leitung entwässert. Die Dachwässer und sonstigen Tagewässer werden durch Abfallrohre und Rinnen offenen Gräben sowie dem Teiche bei der Schmiede zugeführt und versickern zum größten Teile in dem durchlässigen sandigen Boden. Die Abwässer aus den Leitungen gelangen nach einem auf dem Gelände hinter der Schmiede befindlichen Rieselfeld von 0,5 ha Größe. Diese Anlage besteht aus Klärbecken und Hangstücken, die wagerecht hergerichtet und mit Entwässerungsgräben umgeben sind. Das durch Bodenfilterung gereinigte Abwasser gelangt in einen offenen Graben. Das gesamte Kanalnetz besteht aus Steinzeugröhren von 100 mm bis 200 mm l. Durchmesser. An jeder Richtungsänderung, sonst in je 70 m Entfernung sind Einsteigeschächte von 1 m Durchmesser eingebaut. Die Kosten der Be- und Entwässerungsanlage einschl. des Wasserturms mit Maschinenhaus belaufen sich auf 86 850 Mark.

16. Die Beleuchtungsanlage. Wie schon vorher bei der Wasserversorgung erwähnt ist, dient als Antrieb für die elektrische Anlage ein liegender 18 — 22 PS leistender Naphtalinmotor und bei günstiger Windstärke der höchstens 6 PS leistende Windmotor.

Der erstere Motor arbeitet mit Naphtalin, einem pulverförmigen Brennstoff. Der Motor treibt durch Riemen eine Gleichstrom-Nebenschlußdynamo für 230 — 320 Volt, 14 KW entsprechend einem Kraftbedarf von 22 PS an, während der Windmotor durch Zwischenvorgelege eine Spezial-Gegen-Compound-Dynamo für 0 bis 320 Volt mit einer höchsten Leistung von 3,5 KW entsprechend einem größten Kraftbedarf von 5,5 PS in Bewegung setzt.

Eine Sammlerbatterie mit 122 Elementen und 162 bis 218 Amperestunden Ladefähigkeit ist im ersten und zweiten Stockwerk des Wasserturms aufgestellt. Aus diesem Betriebe werden etwa 200 Glühlampen für das Wohnhaus des Gestütdirektors, die Reithalle, die Bureaus, das Marketendergebäude, für die Stallungen und die Außenbeleuchtung auf den Straßen, ferner ein etwa 3 PS leistender Elektromotor gespeist.

Die Spezial-Gegen-Compound-Dynamo ist so eingerichtet, daß sie zwischen 270 und 1100 Umdrehungen die gewünschte Betriebsspannung für die Ladung der Sammlerbatterie abgeben kann. Eine unmittelbare Stromabgabe von der Windmotordynamo findet nicht statt, das Leitungsnetz wird nur von der durch Naphtalinmotor angetriebenen Hauptdynamo oder aus der Sammlerbatterie gespeist. Die Gegen-Compound-Wicklung der Spezial-Windmotordynamo verhindert, daß bei zunehmender Umdrehungszahl die Spannung und die Stromstärke dieser Dynamo über das gewünschte Maß ansteigt, und ermöglicht so die Batterieladung auch bei stark veränderlicher Umdrehungzahl des Windmotors. Um eine mög-



Abb. 17. Wasserturm. Ansicht von Westen.

lichst konstante Erregung dieser Dynamo zu erhalten, wird das Feld dieser Maschine aus der Batterie fremderregt. Die einzelnen Widerstände des Nebenschluß-Reglers dieser Dynamo bestehen aus Eisendrähten in Glaskörpern mit Wasserstoffgasfüllung. Diese Widerstände haben die Eigenschaft, bei zunehmender Erwärmung ihren Widerstand zu erhöhen und somit den hindurchgehenden Strom trotz veränderlicher Spannung konstant zu halten. Je nach dem Zustand der Ladung wird die Stellung des Spezialreglers verändert, wodurch mehr oder weniger dieser Eisendrahtwiderstände ein- oder ausgeschaltet werden. Ein weiterer wichtiger Apparat



Abb. 18. Wasserturm. Ansicht von Süden.

dieser Windmotorenanlage ist der selbsttätige Schalter, der die Verbindung zwischen Dynamomaschine und Batterie herstellt und löst. Die Herstellung dieser Verbindung darf erst erfolgen, wenn die Dynamospannung etwas stärker ist als die Batteriespannung, und umgekehrt muß das Abschalten erfolgen, bevor der Strom aus der Batterie zurückfließt, da sich sonst die Batterie auf die Dynamo entladen würde. Der selbsttätige Schalter in Marienwerder ist so eingerichtet, daß eine Unterbrechung des Stromkreises bei einer geringsten Stromstärke vor sich geht, während anderseits die Dynamo zur Ladung eingeschaltet wird, sobald die Spannung der Dynamo etwas höher ist als die Spannung der Batterie. Die elektrischen Leitungen sind wie üblich ausgeführt und liegen in den großen Ställen über der massiven Decke. Die Kosten der gesamten Anlage betragen 24850 Mark.

17. Blitzableiteranlage haben unter Verwendung von Kupferleitung die drei großen Ställe, der Wasserturm, das Reithaus, der Quarantänestall, das Direktor-, Rendanten- und Marketenderhaus erhalten. Die Kosten betragen 6000 Mark.

18. Geländeregulierung, Straßen- und Wegeanlagen.

Die Führung der Straßen usw. ist bereits vorher erörtert worden und ergibt sich aus dem Lageplan (Abb. 2 Bl. 14). Die Breite der Straßen und ihre Befestigungsart ist je nach der Bedeutung des Verkehrs verschieden bemessen. Die von der Graudenzer Chaussee abgehenden drei Hauptstraßen haben durchschnittlich eine Breite von 8,3 m erhalten, wovon 3,50 m auf die Steinbahn, 2,80 m auf den Sommerweg und 2 m auf das an einer Seite vorgesehene Fußgängerbankett entfallen. Für die Querstraßen hinter den großen Ställen ist eine Breite von 6,60 m vorgesehen. Die übrigen befahrbaren Verbindungsstraßen zwischen den Hauptstraßen haben durchweg eine Breite von 3—4 m. Die mit schweren Lasten befahrenen Hauptstraßen haben Chaussierung, die übrigen Straßen sowie Nebenwege Schlackenbefestigung. Für Geländeregulierung, Straßen- und Wegeanlagen sind 71100 Mark ausgegeben.

19. Gartenanlagen und Baumpflanzungen.

Der Anger vor dem Marketenderhause ist in dem oberen Teile als Erholungsanlage für die Erwachsenen, in dem von diesem durch Holzgitter getrennten unteren Teil als Spielplatz für die zahlreichen Kinder gedacht und dementsprechend mit Wegen, Rasen und Sträuchern versehen. An allen Straßen sind möglichst beiderseits Bäume verschiedener Art gepflanzt. Die Kosten für die Gartenanlagen und Baumpflanzungen belaufen sich auf 4700 Mark.

20. Die Umwehrung an der Graudenzer Chaussee besteht in einer Heckenpflanzung. Die drei Hauptzufahrten daselbst haben Tore erhalten. An der nordwestlichen Grenze längs des Liebentaler Wäldchens und anschließend an der nordöstlichen Grenze bis zu den Rieselfeldern ist

ein 1,75 m hoher Zaun aus eisernen Pfosten in Betonklötzen und mit zwischengespanntem verzinnten Maschendraht aufgestellt. Die Umwehrungen bei den Wohnungen sind als 1,15 m hohe Staketenzäune mit Pfosten aus eisernen Trägern und mit kiefernen Latten und Gurtungen hergestellt. Der Reitplatz zwischen den großen Ställen ist im Anschluß an diese Gebäude mit einer Umwehrung aus glatten gußeisernen Pfosten und Gurtungen aus Gasrohren versehen. Die Umfriedigung soll verhindern, daß die bei den Reitübungen störrisch werdenden Hengste auf die Straße gelangen. Die Kosten der Umfriedigung stellen sich auf 20500 Mark.

Die gesamte Gestütanlage ohne innere Einrichtung hat einen Kostenaufwand von 1040000 Mark erfordert, für die innere Einrichtung sind 10000 Mark verausgabt. Die Bauausführung wurde 1907 begonnen und 1910 beendet. Die Entwürfe, für deren allgemeinwirtschaftliche Anordnung einschließlich der inneren Stalleinrichtungen die Angaben des Oberlandstallmeisters Grafen v. Lehndorff, Exzellenz, maßgebend waren, sind nach den von der Baukommission unter Vorsitz des Geheimen Oberbaurats Böttger aus dem Landwirtschaftsministerium und unter Mitwirkung des Gestütdirektors Rittmeister a. D. v. Auerswald gepflogenen Beratungen und festgelegten Gesichtspunkten von dem Regierungsbaumeister Rudolph in Marienwerder aufgestellt und unter dessen Bauleitung zur Ausführung gebracht, während die Aufsicht über die Ausführung dem Regierungs- und Baurat Neuhaus bei der Regierung in Marienwerder oblag.

Umgestaltung der Bahnanlagen bei Spandau und Bau eines Verschiebebahnhofs bei Wustermark.

Von E. Giese, Professor an der Technischen Hochschule in Braunschweig.

(Mit Abbildungen auf Blatt 32 bis 36 im Atlas.)

A. Geschichtliche Entwicklung der Spandauer Bahnhofsanlagen und des Umbauentwurfs.

Spandau, die westliche Vorstadt von Groß-Berlin, hat für den Eisenbahnverkehr dadurch eine besondere Bedeutung, daß sie von zwei Bahnlinien — der Hamburger Bahn (Berlin—Wittenberge – Hamburg) und der Lehrter Bahn (Berlin—Stendal—Lehrte—Hannover) — berührt wird. Beide Bahnen waren früher Privatbahnen. Die bereits im Jahre 1846 eröffnete Hamburger Bahn gehörte der Berlin-Hamburger Eisenbahngesellschaft, die Bahn Berlin — Lehrte war ein Teil des Magdeburg-Halberstädter Eisenbahnunternehmens und wurde, nachdem sie am 12. Juni 1867 bestätigt war, 1871 in ihrer vollen Länge dem Betriebe übergeben. Beide Bahnen hatten in Berlin große Kopfbahnhöfe als Endbahnhöfe — den alten Hamburger Bahnhof und den Lehrter Bahnhof — und getrennt davon Anlagen für den Güterverkehr. Die Hamburger Bahn war bei Spandau die nördlichere der beiden Linien und führte östlich der Havel etwa am linken Ufer der Spree entlang, während die Lehrter Bahn vom Spandauer Berg aus in südlicherer Lage den Stadtteil Stresow durchzog (vgl. Abb. 1 Bl. 32). Der Personenbahnhof der Hamburger Bahn lag südlich von den militärtechnischen Instituten auf dem Gelände des jetzigen Personenbahnhofs, ihr Verschiebebahnhof bei Ruhleben, südlich vom Auswandererbahnhof. Bis zum Jahre 1883 konnte die mit einer Gleisverschlingung ausgestattete Havelbrücke der Hamburger Bahn nur eingleisig befahren werden. Erst dann wurde die Brücke zu einer zweigleisigen Drehbrücke umgebaut. Die Lehrter Bahn besaß einen gemeinsamen Personen- und Güterbahnhof westlich der Havel auf dem Gelände des jetzigen Güterbahnhofs.

Der Verkehr beider Bahnen bestand zunächst in der Hauptsache nur aus dem Personenfern- und Güterverkehr. 1881 vermittelten daneben auf jeder der beiden Bahnen sechs Vorortzüge den Ortsverkehr. — Mit der Öffnung des Teils Moabit—Tempelhof der Berliner Ringbahn für den Güterverkehr im Jahre 1871 und für den Personenverkehr im Jahre 1872 wurde auch der Anschluß der Lehrter Bahn an die Berliner Ringbahn und den Bahnhof Moabit eröffnet.

Eine wesentliche Änderung in der Betriebsführung der beiden Bahnen brachte der Bau der Berliner Stadtbahn. Der Vereinigung der Staatsregierung und der Berlin-Potsdam-Magdeburger Bahn mit der Deutschen Eisenbahn-Baugesellschaft zu einem Aktienunternehmen für den Bau und den Betrieb der Berliner Stadtbahn im Jahre 1873 traten auch die Berlin-Hamburger und Magdeburg-Halberstädter Eisenbahngesellschaften bei mit dem Ziel, die Hamburger und Lehrter Bahn an die Stadtbahn bei Charlottenburg anzuschließen. Schwierigkeiten verzögerten jedoch den Bau, auch konnte die Deutsche Eisenbahn-Baugesellschaft den gezeichneten Kostenanteil nicht aufbringen. Daher nahm 1878 der Staat die Fertigstellung der Berliner Stadteisenbahn in die Hand. Für die Hamburger und Lehrter Bahn bestand zunächst die Absicht, beide durch einen gemeinsamen Anschluß in die Stadtbahn einzuführen. Da die Verhandlungen hierüber kein Ergebnis hatten, so wurden getrennte Anschlüsse für die beiden Bahnen an die Stadtbahn angestrebt. Man entschloß sich hierbei, die Lehrter Züge durch das in Abb. 1 Bl. 32 mit *a* bezeichnete Anschlußgleis an die Ringbahn nördlich von Westend und weiterhin über die mit *b* bezeichneten Gleise und den 1879 in Betrieb genommenen Güterbahnhof Charlottenburg in den Personenbahnhof Charlottenburg einzuführen, während aus der Hamburger Bahn östlich vom Elsgraben ein Gleispaar in Schienenhöhe abgezweigt, über die Gleise der Lehrter Bahn und über die Spandauer Chaussee schienenfrei hinweg geführt, durch den Grunewald geleitet und an den Bahnhof Charlottenburg angeschlossen wurde. Inzwischen war durch Gesetz vom 20. Dezember 1879 bezw. 14. Januar 1880 die Magdeburg-Halberstädter Bahn und gleichzeitig mit ihr auch die Berlin-Potsdam-Magdeburger Bahn verstaatlicht worden, so daß bei Eröffnung der Stadtbahn im Jahre 1882 die Berlin-Hamburger

Eisenbahngesellschaft als alleinige Besitzerin einer Privatbahn an dem Staatsbahnunternehmen beteiligt war. Ihr fielen von den Gesamtkosten für den Umbau des Bahnhofs Charlottenburg $^2/_{15}$ zu. In Charlottenburg waren bei Eröffnung der Stadtbahn vier in Linien betriebene Bahnsteige vorhanden, von denen zunächst der südliche die Züge der östlichen Staatsbahnen, der zweite die Züge der Magdeburger Bahn, der nächste die Züge der Berlin-Lehrter und Berlin-Dresdener Bahn und der nördliche die Ortszüge aufnahm. Da diese Betriebsführung eine zu ungleiche Benutzung der Bahnsteige ergab, wurde bald darauf der Betrieb auf den drei Fernbahnsteigen so eingeteilt, daß an dem südlichen zusammen von beiden Richtungen 24 Züge der Staatsbahnen — wozu im Sommer wochentäglich 28, an Sonntagen bis 68 Züge nach Grunewald kamen —, am zweiten Bahnsteig 10 Schnellzüge der Hamburger Bahn und 33 der Staatsbahnen und an dem dritten Bahnsteig 24 Züge der Lehrter und Dresdener Richtung abgefertigt wurden.

Die durch die Stadtbahn verursachte Verkehrssteigerung zwang später, die Hamburger Schnellzüge wiederum von der Stadtbahn herunter in den Hamburger (nach 1890 in den Lehrter) Bahnhof zu verlegen, während die Lehrter Personenzüge zunächst auf der Stadtbahn verblieben. Und zwar verkehrten diese anfangs über das Lehrter Anschlußgleis. Vom Jahre 1889 ab wurden sie über die Hamburger Anschlußlinie geleitet; seitdem wird der Lehrter Anschluß nur noch für den Güterverkehr benutzt.

Am 29. März 1884 wurde auch die Berlin-Hamburger Eisenbahngesellschaft verstaatlicht. Nunmehr wurden beschleunigt Verhandlungen über eine Verbindung und Zusammenlegung der Lehrter und Hamburger Bahn innerhalb des Spandauer Stadtgebietes angebahnt, über die zwischen den Privatbahnen eine Einigung nicht hatte erzielt werden können. Diese Verbindung war besonders dringlich, weil die getrennte Lage der beiden Bahnen und der Bahnhöfe eine recht ungünstige und kostspielige Betriebsführung verursachte. Zunächst wurden im Jahre 1885 die vorher nicht miteinander in Verbindung stehenden Bahnlinien durch einen Gleisstrang verbunden. Dann wurde die Frage erwogen, in welcher Weise der gesamte Personen- und Güterverkehr beider Bahnen zusammengefaßt werden könne. Der anfängliche Vorschlag, den Personen- und Güterverkehr beider Bahnen auf dem Gelände der Lehrter Bahn westlich der Havel zusammenzulegen, fand nicht den Beifall der maßgebenden Zivil- und Militärbehörden, besonders weil es bedenklich erschien, einen großen Stadtteil wie den östlich der Havel gelegenen von dem Eisenbahnverkehr gänzlich auszuschalten. Dagegen stimmten die Behörden einem 1886 aufgestellten Entwurfe für den Umbau des Lehrter Bahnhofs bei Spandau zu einem gemeinschaftlichen Güter- und Verschiebebahnhof und den Ausbau des Hamburger Personenbahnhofs zu einem gemeinschaftlichen Personenbahnhofe zu. Um den Einsprüchen der Anwohner westlich der Havel, die einen Personenbahnhof verloren, von vornherein zu begegnen, wurde im Entwurf eine Verbindung der westlichen Stadtteile mit dem Personenbahnhofe durch eine im Zuge der Hamburger Bahn zu erbauende Fußgängerbrücke über die Havel vorgesehen. Für diesen Umbauentwurf, nach dem auch auf dem Lehrter Bahnhof ein größerer Schuppen für den Umladeverkehr zu errichten war, wurden im Jahre 1890 1318000 Mark bereit gestellt. Der Umbau wurde 1892 vollendet. Er hatte gleichzeitig die Einführung der Hamburger Züge in den Lehrter Hauptbahnhof in Berlin, und damit die Aufgabe des alten Hamburger Personenbahnhofs in Berlin, in dem sich zurzeit das Verkehrs- und Baumuseum befindet, zur Folge.

Nach diesem Umbau zeigten die Bahnanlagen bei Spandau im allgemeinen bereits den in Abb. 1 Bl. 32 dargestellten Zustand des Jahres 1900. Der östlich der Havel gelegene Personenbahnhof wurde von den vereinigten Hamburger und Lehrter Personengleisen berührt, die zwischen Berlin (Lehrter Bahnhof) und Spandau im Zuge der ehemaligen Hamburger Bahn liegen und bei Ruhleben die von der Stadtbahn kommenden Gleise in sich aufnehmen. Die ehemalige Anschlußstrecke der Lehrter Bahn über Westend zur Stadtbahn war für den Personenverkehr außer Betrieb gesetzt und alle über die Stadtbahn verkehrenden Personenzüge auf die Hamburger Anschlußstrecke verwiesen. Die Personengleise wurden von den Schnellzügen, Personenzügen und Eilgüterzügen befahren, die mit Ausnahme einiger Schnellzüge sämtlich auf dem Personenbahnhofe hielten, während sie den Güterbahnhof ohne Aufenthalt durchfuhren. Daneben war den Personengleisen inzwischen die Bewältigung eines erheblichen Vorortverkehrs zugefallen, zur Zeit der Fertigstellung des Umbaues 40 ein- und ausfahrende Züge, die nunmehr sämtlich in dem Personenbahnhof wendeten. Nach Überschreitung der Havel führten die Personengleise längs des gemeinsamen Güterbahnhofs und gabelten sich kurz vor der Staakener Straße in km 13,0 + 50 in Schienenhöhe nach den Richtungen Hamburg und Lehrte.

Zu dem Güterbahnhof, der einen gewaltigen Verschiebe-, Umlade- und Ortsgüterverkehr zu bewältigen hat, führten von dem Hamburger Güterbahnhof in Berlin über Moabit die besonderen, im Zuge der alten Lehrter Bahn liegenden Gütergleise, die bei km 7,2 die Anschlußbahn von Westend in sich aufnahmen, etwa 150 m südlich von den Personengleisen die Havel überschritten, sich innerhalb des Güterbahnhofs nach den Richtungen Hamburg und Lehrte teilten und unmittelbar hinter dem Güterbahnhof in die Personengleise nach Hamburg und Lehrte einmündeten. Der ehemalige Verschiebebahnhof der Hamburger Bahn bei Ruhleben war beseitigt.

Eine besondere Rolle in dem ganzen Spandauer Eisenbahnverkehr spielten schon damals die zahlreichen militärtechnischen Institute — Artilleriewerkstatt, Gasanstalt, Geschützgießerei, Gewehr- und Munitionsfabrik —, die das ganze östliche Havelufer von der Hamburger Bahn bis nördlich zum Salzhof einnehmen. Nicht nur daß sie dem Bahnhofe durch ein ausgedehntes Netz von Anschlußgleisen zahlreiche Güter zuführen, auch der Arbeiterverkehr hat dadurch einen bedeutenden Umfang, weil die in den militärischen Instituten beschäftigten Arbeiter zu einem großen Teil in Berlin wohnen. 1890 war der Verkehr mit den militärischen Instituten bereits so umfangreich, daß an den Freiheitswiesen besondere Anschlußgleise für die von dem militärischen Anschlußgleis kommenden Wagen angelegt werden mußten.

Im Jahre 1890 wurde auch — veranlaßt durch die schnell fortschreitende Bebauung der Stadt Charlottenburg — angeregt, den damals in Charlottenburg gelegenen Auswanderer-

bahnhof nach Ruhleben zu verlegen mit der Begründung, daß in Charlottenburg der Einschleichung von ansteckenden Krankheiten nicht genügend begegnet werden könnte. Die Verlegung wurde bald darauf durchgeführt.

Der Spandauer Bahnhofsumbau vom Jahre 1892 hatte zwar durch die Vereinigung der Lehrter und Hamburger Bahn einen Teil der Mängel der Spandauer Bahnhofsanlagen beseitigt, besonders die Betriebsführung wesentlich vereinfacht, die Führung der Bahnen in Straßenhöhe und die Drehpfeiler in den Havelbrücken waren jedoch geblieben. Bereits bei einer Erörterung des Umbauentwurfs vom Jahre 1886 war seitens der Vertreter der Königlichen Regierung der Beibehaltung der Kreuzungen in Schienenhöhe besonders an der Klosterstraße nur mit Rücksicht darauf zugestimmt worden, daß die Kreuzungen in Schienenhöhe und die Fahrten über die Havelbrücke durch den Entwurf wesentlich eingeschränkt würden, weil danach sämtliche Vorortzüge bei dem Personenbahnhof wenden und daher nicht mehr wie früher zum Lehrter (jetzigen Güter-) Bahnhof durchfahren würden. Durch die nach dem Umbau eingetretene Verkehrssteigerung traten jedoch diese Mängel infolge der stetig steigenden Zugdichte bald wieder von neuem in die Erscheinung, und bereits im Jahre 1897 — fünf Jahre nach der Fertigstellung des Umbaues — wurde, da es zweifellos war, daß der Umbau vom Jahre 1892 dem Verkehre nicht auf die Dauer genügen würde, wiederum der erste Entwurf zu einer Umgestaltung bearbeitet. Inzwischen zeigte sich mehr und mehr, daß eine Erweiterung in kleinem Umfange die Mängel nicht beseitigen und nur ein Umbau von Grund aus auf die Dauer Abhilfe schaffen könne. Mit Rücksicht auf die in den nächsten Jahren durchgeführten Entwurfsarbeiten wurden nunmehr größere Erweiterungen zurückgehalten; man beschränkte sich vielmehr nur darauf, die Anlagen soweit zu verbessern, daß der Betrieb und Verkehr aufrecht erhalten werden konnte. Zu den so vorgenommenen Betriebserleichterungen gehörte auch die Verlängerung des Umladeschuppens auf dem Güterbahnhof Spandau (1899), die Beseitigung der Kreuzung zwischen dem Personengleis Charlottenburg — Spandau und dem Personengleis Spandau — Lehrter Bahnhof an der Gabelung der Personengleise nach dem Lehrter Bahnhof und der Stadtbahn östlich von Ruhleben (1901) und die Vergrößerung der Eilgutanlagen auf dem Personenbahnhof (1904).

Die außerordentliche Belastung der Stadtbahn hatte dazu geführt, diese immer weiter zu entlasten. Nachdem, wie bereits erwähnt, die Hamburger Fernzüge von der Stadtbahn in den Hamburger und Lehrter Bahnhof zurückverlegt waren, wurden auch die Lehrter Personenzüge in den Lehrter Bahnhof eingeführt, so daß im Jahre 1890 neben einem Teil der Vorortzüge nur noch die Lehrter Schnellzüge über die Stadtbahn gingen. Aber auch von diesen ist nachher die Stadtbahn zum Teil weiter entlastet worden. Die Verteilung der Züge auf die einzelnen Strecken innerhalb der letzten Jahre ist aus der Zusammenstellung auf Seite 217 zu ersehen.

Im Jahre 1902 hatten die Entwürfe für die Umgestaltung der Bahnanlagen bei Spandau so feste Gestalt angenommen, daß die Baumittel auf 12 750 000 Mark festgesetzt werden konnten. Von dieser Summe entfielen 6 100 000 Mark auf die Erweiterung der Spandauer Bahnhofsanlagen und 6 650 000 Mark auf den Bau eines Verschiebebahnhofs bei Seegefeld. Bei der von 1901 bis 1905 vorgenommenen weiteren Bearbeitung der Entwürfe wurden die wesentlichen, dem Entwurf anhaftenden Mängel beseitigt und die Anlagen vervollkommnet, wobei im Entwurfe besonders folgende Erweiterungen vorgesehen wurden: Anlage eines besonderen Anschlußbahnhofs für die militär-technischen Institute bei Ruhleben, Herstellung einer Unterführung für das militärische Anschlußgleis, Herstellung eines viergleisigen Unterbaues für die Personengleise zwischen Ruhleben und Spandau, Bau eines besonderen Vorortbahnhofs auf dem rechten Ufer der Havel und viergleisiger Ausbau der Personengleise zwischen dem Personenbahnhof und dem neuen Vorortbahnhof.

Inzwischen hatte in Spandau eine starke Grundstücksteigerung eingesetzt. Um dieser möglichst vorzubeugen, wurden im Jahre 1903 für den zur Umgestaltung erforderlichen Erwerb von Grund und Boden 500 000 Mark bereit gestellt. Ferner mußten infolge der Grundstückssteigerung die veranschlagten Baumittel im Jahre 1905, in dem auch die erste Baurate zur Verfügung gestellt wurde, auf 15 600 000 Mark erhöht werden, wovon 8 980 000 Mark auf die Umgestaltung der Bahnanlagen bei Spandau und 6 620 000 Mark auf den Bau eines Verschiebebahnhofs fielen. Nach diesem Entwurfe war der Verschiebebahnhof nicht mehr bei Seegefeld, sondern bei Wustermark geplant.

Aber auch damals hatte der Entwurf noch nicht die endgültig ausgeführte Gestalt. Die erforderlichen hohen Mittel hatten immer zu sehr von einer zu weitgehenden Änderung zurückgeschreckt, der jedoch unter der Wucht der Verkehrssteigerung noch während der Bauausführung näher getreten werden mußte. Namentlich hatte sich die stetig steigernde Zugdichte auf der Strecke zwischen Ruhleben und Spandau, wo der Zugverkehr der zweigleisigen Strecke vom Lehrter Bahnhof mit dem der zweigleisigen Strecke von der Stadtbahn auf zwei Gleisen vereinigt war, so fühlbar gemacht, daß der viergleisige Ausbau hier sogleich ausgeführt werden mußte. Ferner hatten die Erweiterung der Gleisanschlüsse sowie die 1909 fertig gestellte und in den Güterbahnhof eingeführte Kleinbahn Bötzow — Spandau dazu beigetragen, die einzelnen Anlagen der Spandauer Bahnhöfe umfangreicher zu gestalten. Endlich war das 1882 erbaute Anschlußgleis der ehemaligen Hamburger Bahn an die Stadtbahn, trotz der mehrfach vorgenommenen Entlastung inzwischen wieder so belastet, daß der viergleisige Ausbau erwünscht erschien. Nun war in Verbindung mit dem Bau der Döberitzer Heerstraße der Gedanke der Erschließung eines Teils des Grunewaldes für die Bebauung aufgetreten und das nördlich und südlich der Heerstraße gelegene wellige und landschaftlich besonders reizvolle Gelände des Grunewalds zu einer Villenkolonie bestimmt worden (Abb. 2 Bl. 32). Auch hatte von dem nördlich der Heerstraße gelegenen Gelände die Forstverwaltung ein großes Stück an den Union-Klub zur Anlage einer Pferderennbahn und eines Stadions für sportliche Veranstaltungen verpachtet. Für diese war ebenso wie für die geplante Villenkolonie die Herstellung einer Verbindung mit Berlin von größter wirtschaftlicher Bedeutung, ja eine Lebensaufgabe. Und so begegneten sich die Wünsche der Forstverwaltung und des Union-Klubs mit den Staatsbahninteressen, die auf die baldige Herstellung besonderer Vorortgleise zwischen Charlottenburg und Spandau gerichtet waren.

Diese Gleise wurden daher im Entwurfe zunächst zwischen Heerstraße und Spandau vorgesehen und, um gleichzeitig der Erschließung der neuen Kolonie zu dienen, von den Ferngleisen losgelöst über Heerstraße, Rennbahn und Pichelsberg auf einem besonderen Bahnkörper durch den Grunewald geleitet und gesondert in den Personenbahnhof Spandau eingeführt (vgl. Zentralbl. d. Bauverw., Jahrg. 1910, S. 537, 553).

Die Einführung dieser Vorortbahn von Charlottenburg gab die Möglichkeit, den Entwurf für die Umgestaltung der Bahnanlagen bei Spandau weiter zu verbessern. Wenn auch für die Einführung dieser Vorortgleise in den Bahnhof Spandau besondere Mittel in dem Gesetz für ihre Herstellung mit etwa 700 000 Mark vorgesehen waren, so hatten die übrigen erwähnten Erweiterungen, zu denen auch noch ein weiterer Ausbau des Bahnhofs Wustermark kam, veranlaßt, im Jahre 1910 die Bausumme abermals auf 18 160 000 Mark zu erhöhen, wovon nunmehr 8 874 000 Mark auf die Erweiterung der Spandauer Bahnhofsanlagen und 9 286 000 Mark auf den viergleisigen Ausbau der Berlin-Lehrter Bahn und die Anlage eines Verschiebebahnhofs bei Wustermark entfielen.

B. Entwicklung der Stadt Spandau und ihrer Umgebung.

Wenn in dem vorstehenden Rückblick auf die geschichtliche Entwicklung der Spandauer Bahnhofsanlagen und den Umbauentwurf auch schon die Gründe, die zu der Bauausführung nötigten, im allgemeinen kurz erwähnt sind, so dürfte es sich doch empfehlen, noch näher auf die Entwicklung einzugehen, die vor und während der Entwurfsaufstellung und während des Umbaues in Spandau und in der Umgebung von Spandau vor sich gegangen ist.

Zwei Ursachen waren besonders geeignet, Spandau und seiner Umgebung ein besonderes Aufblühen und dadurch eine besondere Verkehrszunahme zu sichern: die im Jahre 1900 beschlossene Entfestigung der Stadt und der im Jahre 1910 im allgemeinen fertiggestellte Bau der Döberitzer Heerstraße.

Spandau, das vor dem Jahre 1900 in seinen engen Mauern kaum noch ausdehnungsfähig war, erhielt durch die schnell ausgeführten Entfestigungspläne eine unbeschränkte Ausdehnungsfähigkeit. Auf dem durch die Niederlegung der Festungswälle frei gewordenen Gelände wurde mit dem Ausbau eines umfangreichen Straßennetzes und mit der Herstellung von Straßenbahnen begonnen. In Verbindung mit der Aufhebung der Baubeschränkungen setzte eine rege Bautätigkeit ein. Eine Siedelung schloß sich an die andere an, neue Stadtteile entstanden im Norden, neue Stadtteile im Süden. Um die Industrie zu fördern, schritt die Stadtgemeinde in Verbindung mit einem Haveldurchstich an den Ausbau eines großen Hafenbeckens östlich der Wilhelmstadt auf den ehemaligen Götelwiesen. Auch nördlich der Altstadt wurden am Westufer der Havel Umschlagplätze geschaffen. Solange Spandau Festung war, mußte aus militärischen Rücksichten die Möglichkeit gewahrt bleiben, die Ländereien an den Freiheitwiesen und dem Stresow unter Wasser zu setzen. Da mit der Entfestigung von Spandau diese Notwendigkeit entfiel, so konnte hiermit gleichzeitig eine Regelung der Hochwasserverhältnisse bei Spandau durchgeführt werden. Die Spree und die Havel wurden ausgebaut, und da auch der Teltowkanal einen Teil der abgeführten Wasser übernahm, so konnte von der Mitwirkung des Els- und Schlangengrabens für die Hochwasserabführung abgesehen werden. Das Gelände östlich vom Personenbahnhof an den Freiheitwiesen und dem Stresow wurde dadurch der Bebauung freigegeben. Die Bautätigkeit, die sich bisher mehr auf dem westlichen Ufer der Havel entwickelt hatte, beginnt nunmehr auf das östliche überzugehen. Hier liegen die großen militär-technischen Anstalten, die eine bedeutende Anzahl Beamte und Arbeiter beschäftigen und für deren Wohnungsbedarf bisher nicht genügend gesorgt werden konnte. Die Wahrscheinlickeit der Entwicklung dieses Stadtteiles ist um so größer, als es naturgemäß und dem Vorteil der Bewohner am tunlichsten erscheint, wenn die Städte Spandau und Charlottenburg einen schnellen Anschluß erstreben. Der Ausbau dieser Geländeteile steht um so mehr zu erwarten, als auch das hier gelegene Gelände der Domäne Ruhleben in kurzem der Bebauung erschlossen werden soll.

Die Bevölkerung von Spandau betrug

im Jahre 1889	. . 32 000	Einwohner
„ „ 1895	. . 56 000	„
„ „ 1905	. . 70 000	„
„ „ 1910	. . 84 000	„

In den fünfzehn Jahren von 1895 bis 1910 hat die Einwohnerzahl von Spandau also um 50 vH. zugenommen, von denen auf die ersten zehn Jahre durchschnittlich jährlich 2,5 vH. und auf die letzten fünf Jahre im Jahresdurchschnitt 5 vH. entfallen. Wenn hiernach die Stadtentwicklung immerhin keine langsame gewesen ist, so ist sie doch gegenüber dem gewaltigen Aufschwung der Stadt in den letzten Jahren zunächst noch nicht bedeutend und dürfte sich aller Wahrscheinlichkeit nach im nächsten Jahrzehnt fühlbarer machen.

Die zweite Ursache, die besonders auf die Entwicklung aller westlich von Berlin gelegenen Ortschaften befruchtend einwirken mußte, war der Bau der Döberitzer Heerstraße, dieses gewaltige Unternehmen, durch das vom Brandenburger Tor aus über das Knie in Charlottenburg bis nach Pichelsberg eine breite geradlinige Verkehrsader geschaffen worden ist, die weiterhin durch den südlichen Zipfel von Spandau und Staakener Gelände bis zum Truppenübungsplatz in Döberitz führt (Abb. 2 Bl. 32). Diese mußte besonders auf die Bautätigkeit in den südlichen Teilen des Spandauer Weichbilds und in Dallgow-Döberitz, wo eine neue Villenkolonie entstand, anregend wirken. Auch die Villenkolonie Neu-Westend verdankt ihr diesen außerordentlichen Aufschwung. Sie war ferner die Veranlassung zur Freilegung eines Teils des Grunewalds für eine Villenkolonie und zu der bereits erwähnten Herstellung besonderer Vorortgleise zwischen den Bahnhöfen Heerstraße und Spandau und hat dadurch mittelbar eine gänzliche Umänderung und Erweiterung im Entwurf der Spandauer Bahnhofsanlagen herbeigeführt.

Andere Gründungen, die verkehrsfördernd wirkten, waren: die Anlage der Trabrennbahn bei Ruhleben zwischen Spree und Hamburger Bahn (Abb. 2 Bl. 32), der Bau eines Kraftwerks für die elektrische Hoch- und Untergrundbahn und eines großen Abstellbahnhofs für sie unweit des Spandauer Bocks und besonders die Verlegung der gesamten Siemens-Schuckertwerke aus Berlin heraus nach den zu Spandau gehörigen Nonnenwiesen. Hierdurch wurde auch der Bau der Station Fürstenbrunn mit Kehranlagen bedingt, die schon jetzt einen gewaltigen Arbeiterverkehr aufweist.

Zur Bewältigung des Verkehrs zwischen Spandau und Charlottenburg wurde Spandau mit dem Spandauer Bock durch eine eingleisige Straßenbahn verbunden, die längs der Hamburger Chaussee verläuft und schon einige Jahre nach ihrer Fertigstellung zweigleisig ausgebaut werden mußte. Sie vermittelt auch einen Teil des Verkehrs von und zur Trabrennbahn bei Ruhleben. Der Wunsch nach Hebung des Verkehrs in dem Kreis Osthavelland ließ auch den Gedanken des Baues einer Kleinbahn Spandau — Bötzow entstehen, die inzwischen hergestellt und in den Güterbahnhof Spandau eingeführt ist, dem sie monatlich 1400 bis 2000 Güterwagen zuführt.

Aber auch die westlich von Spandau gelegenen Ortschaften hatten an dem wirtschaftlichen Aufschwunge Spandaus teilgenommen. Eine neue Villenkolonie nach der andern wurde begründet. So entstanden die Kolonien Neu-Finkenkrug, Neu-Seegefeld, Waldheim, Falkenhain und Neu-Döberitz, andere sind weiter im Entstehen und in der Entwicklung. Die Begründung und Hebung der Ortschaften hatte aber nicht nur eine Steigerung des Geschäftsverkehrs, sondern auch eine bedeutende Zunahme des Sonntags- und Ausflugverkehrs zur Folge, der sich über Spandau besonders nach dem prächtigen Tegeler See, nach Pichelswerder und von Finkenkrug nach den herrlichen Waldungen des Brieselangs erstreckt. Dem Aufschwunge dieser Orte mußte auch ein Umbau ihrer Bahnhöfe folgen, und es wurden die Bahnhöfe Finkenkrug und Seegefeld, ebenso Dalgow-Döberitz von Grund aus umgestaltet, wobei in Finkenkrug auch eine Kehrgleisanlage für Vorortzüge geschaffen wurde. Durch das Aufblühen der Orte westlich von Spandau stieg auch der Durchgangsverkehr durch Spandau, dem weiter eine Vermehrung der Züge folgen mußte.

So befruchtete ein Unternehmen das andere, und zum letzten war auch der inzwischen begonnene Bahnhofsumbau und die Aussicht auf Verbesserung der Verkehrsverbindungen der Grund für die außerordentliche Entwicklung der westlich von Berlin gelegenen Ortschaften.

C. Größe des Eisenbahnverkehrs und Mängel der Spandauer Bahnhofsanlagen.

Personenverkehr. Die Zunahme des Personenverkehrs im Bahnhof Spandau erhellt aus folgender Zusammenstellung.

Jahr	Anzahl der in Spandau verkauften Fahrkarten			Auf den Vorortverkehr entfallen vH.
	im Fernverkehr	im Vorortverkehr	Insgesamt	
1895	49 055	1 489 670	1 538 725	96,8
1896	63 605	1 478 739	1 542 344	95,6
1897	79 988	1 634 703	1 714 691	95,3
1898	81 112	1 810 530	1 891 642	95,7
1899	82 785	1 965 805	2 048 590	96,0
1900	103 667	2 098 303	2 201 970	95,3
1901	156 104	2 115 372	2 271 476	93,1
1902	177 455	2 195 922	2 373 377	92,5
1903	163 661	2 552 520	2 716 181	94,0
1904	164 378	2 563 206	2 727 584	93,9
1905	198 246	2 683 044	2 881 290	93,1
1906	203 819	2 691 394	2 895 213	92,9
1907	196 544	2 758 051	2 954 595	93,3
1908	194 443	2 906 342	3 100 785	93,7

Hiernach ist die Zahl der Reisenden in den Jahren von 1895 bis 1908 um 100 vH., d. h. durchschnittlich jährlich um 8 vH. gestiegen. Ebenso hat sich der Verkehr im einzelnen an den verkehrsstärksten Tagen entwickelt, der für die Bemessung der erforderlichen Bahnanlagen maßgebend ist. An Fahrkarten wurden nämlich in Spandau verkauft:

im Jahre	Karfreitag	Erster Osterfeiertag	Zweiter Osterfeiertag	Himmelfahrt	Erster Pfingstfeiertag	Zweiter Pfingstfeiertag	Zusammen
1895	6 832	9 817	9 783	9 272	10 768	12 480	58 952
1900	5 955	11 702	12 838	7 891	16 212	16 776	71 374
1905	12 314	14 317	16 410	18 212	21 342	22 576	105 171
1908	15 603	15 092	17 004	16 890	21 603	25 322	111 514

Hiernach ist die Zahl der an den genannten Feiertagen beförderten Personen in den dreizehn Jahren von 1895 bis 1908 im ganzen um 89 vH., d. h. durchschnittlich jährlich um 6,8 vH. gestiegen.

Bei diesen Zahlen ist zu berücksichtigen, daß sie wohl ein zuverlässiges Bild der Verkehrssteigerung, aber nicht von dem tatsächlich vorhandenen Verkehr geben, der vielmehr erheblich größer ist; denn besonders an den Tagen starken Verkehrs pflegt ein großer Teil der Reisenden die Fahrkarten für die Rückfahrt zugleich an der Abfahrtstation zu kaufen.

Eine weitere starke Verkehrszunahme steht noch durch all die erst in der Entwicklung begriffenen gewaltigen Unternehmungen zu erwarten.

Die Belastung des durch die Zusammenziehung der Stadtbahngleise und Gleise vom Lehrter Bahnhof entstandenen Gleispaares zwischen Ruhleben und Spandau (Abb. 1 Bl. 32 und Abb. 3 Bl. 33 bis 35) und seine Zunahme erhellt aus der Zusammenstellung auf S. 217. Diese läßt für die letzten Jahre unter genauer Aufführung der Zugarten zugleich die Belastung der einzelnen Strecken und die Belastungszunahme erkennen. In dieser Tabelle geben die ersten Zahlen die täglich verkehrenden regelmäßigen Züge an, während die nebenstehend eingeklammerten Zahlen die Höchstbelastung anzeigen, die an Sonn- und Festtagen eingetreten ist.

Im einzelnen hat hiernach in den achtzehn Jahren von 1891 bis 1909 die Zahl der regelmäßig verkehrenden Personenzüge

im Fernverkehr . . . . um 155 vH,
„ Vorortverkehr . . . . „ 250 vH.,
„ übrigen Verkehr . . . „ 300 vH. zugenommen.

Neben dem schnellwachsenden Fernverkehr ist also den Personengleisen die Bewältigung eines noch schneller anwachsenden Vorort- und sonstigen Verkehrs zugewiesen worden. Während die Zunahme der Reisenden innerhalb des Zeitraums von 1895 bis 1908 102 vH. betragen hatte, mußte besonders mit Rücksicht auf den gesteigerten Durchgangsverkehr die Zugzahl sogar um 143 vH. vermehrt werden. Die Belastung der Strecke zwischen Ruhleben und Spandau im Jahre 1909 mit 314 Zügen im regelmäßigen Verkehr und 423 Zügen im Sonn- und Festtagsverkehr muß als Belastung gelten, die eine weitere Verkehrszunahme ausschließt. Diese erforderte eine weitgehende Verbesserung der Anlagen durch Vermehrung der Gleise.

Für die Abfertigung der zahlreichen Züge waren im Personenbahnhof Spandau nach Abb. 3 Bl. 33 bis 35 fünf Bahnsteigkanten vorhanden, zwei an den durchgehenden Hauptgleisen I^w und II^w, eine an dem Umfahrgleis III^w und zwei an den am Ende mit einer Drehscheibe verbundenen Stumpfgleisen I^o und III°. Die Fernzüge wurden in der Regel an den Gleisen I^w und II^w abgefertigt, die gleichzeitig die zwischen Lehrter Bahnhof und Nauen verkehrenden Vorortzüge aufnahmen. Gleis III^w diente hauptsächlich zur Ausfahrt der vom Lehrter Bahnhof kommenden, hier Kopf machenden Vorortzüge, während die Gleise I^o und III° zur Ein- und Ausfahrt der Vorortzüge von und nach der Stadtbahn (Charlottenburg und Strausberg) bestimmt waren. Das Gleis 2° war Umsetzgleis für die Maschinen.

Die Mängel des Personenbahnhofs, die der Weiterentwicklung des gesteigerten Verkehrs entgegenstanden, zum Teil auch die Sicherheit beeinträchtigten, waren folgende:

Die Vorortkopfgleise I^o und III° standen mit den Hauptgleisen nur mittels einer einfachen, zwischen km 11,1 und 11,2 gelegenen Weichenstraße in Verbindung, die von den ein- und ausfahrenden Vorortzügen benutzt werden mußte. Hierbei mußten die ausfahrenden Züge das Hauptgleis I zwischen km 11,1 und 11,2 auf rd. 80 m Länge in falscher Richtung befahren.

Da eine zweckmäßige Trennung der Anlagen für den Fern- und Vorortverkehr nicht vorhanden war, so fuhren die Vorortzüge in der Richtung nach Berlin von drei verschiedenen Bahnsteigen A, B, C, die Stadtbahnzüge allein von zwei Bahnsteigen B und C ab. Eine regelmäßige Benutzung der Bahnsteige ließ sich nicht durchführen; das Zurechtfinden war den Reisenden daher außerordentlich erschwert.

Die Anlagen für die Personenabfertigung waren unzulänglich. Für den starken Vorortverkehr — an den zwei Pfingstfeiertagen in den Jahren 1903 und 1908 wurden in Spandau über 25 000 Fahrkarten verkauft — fehlte es an ausreichenden Flur- und Schalterräumen, ebenso hatten die Dienstäume, das Stationsbureau und die Güterabfertigung nicht genügend Größe.

Für die Bedienung des östlich vom Personenbahnhofe gelegenen Auswandererbahnhofs Ruhleben stand der Station Spandau nur das Personenhauptgleis Berlin — Spandau zur Verfügung. Bei der Hinfahrt nach Ruhleben zur Abholung der Auswandererwagen mußte die Maschine das genannte Personengleis auf etwa 1 km Länge in falscher Richtung befahren.

Westlich der Havel, wo inzwischen neue Stadtteile entstanden waren, fehlte es an jeglicher Gelegenheit unmittelbar nach Berlin zu fahren. Die Anlage eines Vorortbahnhofs war daher hier dringend erwünscht.

Güterverkehr. Die Zusammenstellung auf Seite 219 zeigt, wie sich der Güterzugverkehr einschl. des zum größeren Teil über die Personengleise geführten Eilgüterverkehrs seit dem Jahre 1895 entwickelt hat. In der Tabelle geben die ersten Zahlen die regelmäßig verkehrenden Züge an, während die nebenstehend eingeklammerten Zahlen die Belastung an den verkehrsstärksten Tagen, also einschließlich der Bedarfszüge anzeigen.

Der regelmäßige Verkehr hat demnach in den Jahren von 1895 bis 1911 um 137 vH., d. h. durchschnittlich jährlich um 8,6 vH. zugenommen.

Die Anlagen für den Eilgüterverkehr waren auf dem Personenbahnhof Spandau untergebracht, alle übrigen dem

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Jahr	Fernzüge							Vorortzüge			Auswanderer, Arbeiterzüge, Maschinenfahrten usw.	Eilgüterzüge	Summe aller Züge	Zunahme von Jahr zu Jahr in vH.
	Schnellzüge			Personenzüge			Zusammen	der Richtung		Zusammen				
	Lehrter Strecke		Hamburger Strecke	Lehrter Strecke		Hamburger Strecke		Lehrter Bahnhof	Stadtbahn [1]					
	über Stadtbahn	von und zum Lehrter Bahnhof		über Stadtbahn	von und zum Lehrter Bahnhof									
1891	—	—	—	—	—	—	40	10	30	40	18		98	—
1895	—	—	—	—	—	—	40	24	40	64	24		128	—
1900	12	2	12	—	16	10	52 (62)	32 (40)	40 (62)	72 (102)	26	10	160 (200)	
1901	18 (20)	4	12 (18)	1	20 (26)	10 (16)	65 (85)	32 (48)	40 (64)	72 (112)	28	10	175 (235)	9,4
1902	18 (22)	4	12 (18)	1	20 (26)	10 (18)	65 (89)	32 (48)	40 (64)	72 (112)	32	10	179 (243)	2,3
1903	18 (22)	6	14 (20)	1	20 (28)	10 (20)	69 (97)	32 (48)	46 (70)	78 (118)	35	10	192 (260)	7,3
1904	20 (25)	6	14 (20)	2	20 (28)	10 (20)	72 (101)	42 (60)	68 (78)	110 (138)	37	10	229 (286)	19,3
1905	18 (23)	6	14 (22)	2	22 (28)	8 (18)	70 (99)	44 (60)	76 (92)	120 (152)	50	11	251 (312)	9,6
1906	18 (25)	8	14 (24)	2	24 (28)	10 (18)	76 (105)	60 (80)	78 (92)	138 (172)	62	4	280 (343)	11,5
1907	18 (25)	10	16 (25)	2	26 (30)	10 (20)	82 (112)	62 (84)	78 (94)	140 (178)	66	4	292 (360)	4,3
1908	18 (25)	11	16 (25)	2	28 (46)	10 (20)	85 (129)	72 (98)	82 (106)	154 (204)	70	2	311 (405)	6,5
1909	20 (29)	11	16 (24)	5	38 (59) [2]	13 (22)	102 (150)	56 (93) [3]	84 (108)	140 (201)	70	2	314 (423)	1,0

1) Von diesen Zügen verkehrt z. Z. etwa die Hälfte zwischen Strausberg und Spandau, die andere Hälfte zwischen Charlottenburg und Spandau.

2) Die außerordentliche Vermehrung erfolgte durch Einlegung von Personenzügen infolge Eröffnung des Verschiebebahnhofs Wustermark.

3) Der Rückgang trat ein infolge Weiterführung von etwa acht Zugpaaren über Spandau hinaus nach Wustermark als Fernzüge und durch den Bau einer Kehrgleisanlage in Fürstenbrunn.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Jahr	Güterzüge auf den Strecken								Eilgüterzüge auf den Strecken				Gesamtzahl der Züge
	Richtung West—Ost				Richtung Ost—West								
	Hamburg—(Wustermark) Spandau	Lehrte—(Wustermark) Spandau	(Wustermark) Spandau—Moabit	(Wustermark) Spandau—Westend	Spandau (Wustermark)—Hamburg	Spandau (Wustermark)—Lehrte	Moabit—Spandau (Wustermark)	Westend—Spandau (Wustermark)	Hamburg—(Wustermark) Spandau	Lehrte—(Wustermark) Spandau	Spandau (Wustermark)—Hamburg	Spandau (Wustermark)—Lehrte	
1895	5	9	2	6	7	9	2	6	1	2	1	2	52
1896	7	10	3	5	8	10	3	6	1	2	1	3	59
1897	7	11	3	6	7	10	3	7	1	3	1	3	62
1898	10	11	3	5	10	11	3	6	1	3	1	3	67
1899	10	11	3	5	9	11	3	6	1	4	1	4	68
1900	11	11	4	5	8	10	4	6	2	4	2	4	70
1901	12	11	5	5	9	10	4	6	2	4	2	4	73
1902	8 (10)	11 (15)	4	6	8 (20)	11 (15)	7	6	2	4	2	4	74 (95)
1903	8 (20)	9 (15)	4	6	8 (20)	9 (16)	6	6	3	4 (6)	3	5	72 (111)
1904	8 (22)	12 (17)	4	12 (15)	8 (21)	9 (17)	5	11 (12)	3	4 (7)	3	5	85 (132)
1905	9 (21)	13 (19)	6	9	12 (20)	10 (18)	9 (11)	10 (13)	3	3	3	3	90 (129)
1906	11 (23)	12 (18)	7	9 (13)	11 (17)	14 (22)	9	10 (11)	4 (6)	4	3 (5)	3	97 (138)
1907	11 (23)	13 (24)	8 (9)	9 (10)	12 (22)	18 (27)	9 (10)	10 (11)	4	4 (6)	3 (4)	3	104 (153)
1908	12 (24)	14 (22)	8 (13)	9 (13)	13 (21)	18 (24)	10 (14)	12 (16)	5 (6)	4	3	3	111 (163)
1909	12 (24)	15 (24)	9 (15)	9 (14)	13 (21)	17 (24)	10 (13)	13 (17)	4	4 (6)	3	3	112 (168)
	*) 9 (20)	14 (21)	16 (24)	13 (23)	9 (17)	13 (21)	18 (31)	10 (13)	3 (4)	4 (6)	4	4	117 (188)
1910	9 (21)	14 (21)	17 (25)	13 (23)	9 (18)	13 (21)	19 (35)	10 (15)	3 (4)	4 (6)	4	4	115 (193)
1911	9 (19)	14 (22)	17 (26)	13 (20)	9 (18)	14 (23)	21 (34)	11 (15)	3 (4)	4 (6)	4	4	123 (195)

*) Eine Änderung im Güterzugverkehre trat am 1. Mai 1909 mit der Außerbetriebsetzung des Verschiebebahnhofs Spandau und der Inbetriebnahme des Verschiebebahnhofs Wustermark ein.

Güterverkehr dienenden Einrichtungen befanden sich auf dem Güterbahnhof (Abb. 3 Bl. 33 bis 35).

Neben dem erheblichen Ortsgüterverkehr hatten die beiden Spandauer Bahnhöfe zugleich einen umfangreichen Umladeverkehr zu bewältigen und zwar der Personenbahnhof den Eilstückgut-, der Güterbahnhof den Frachtstückgut-Umladeverkehr.

1905 waren auf dem Personenbahnhof Spandau täglich etwa 40 Achsen Eilgut im Ein- und Ausgang zu behandeln. Davon entfielen auf Überführung von und nach dem Güterbahnhof vier bis sechs Achsen, auf Überführung von und nach Charlottenburg mit Vorortzügen in besonderen Wagen etwa zwanzig Achsen. Im Ortseilgutverkehr wurden täglich durchschnittlich dreizehn Tonnen im Empfang und Versand behandelt.

Die Verkehrssteigerung, die der Ortsgüterverkehr im Laufe der letzten Jahre erfahren hat, läßt die nebenstehende Zusammenstellung ersehen.

Die Zunahme des durchschnittlichen Tagesverkehrs betrug in den sieben Jahren von 1901 bis 1908 177 vH., also durchschnittlich im Jahre 25,3 vH., die Zunahme der höchsten Tagesbelastung sogar 186 vH., d. h. durchschnittlich jährlich 26,6 vH. Diese ganz außerordentlich starke Verkehrszunahme war zum Teil durch die bereits im Jahre 1906 vorgenommene Verlegung des Eilgutverkehrs vom Personen- nach dem Güterbahnhof verursacht worden, daneben aber durch die erhöhte Tätigkeit in den durch Gleisanschluß verbundenen militär-technischen Instituten und Industriewerken sowie durch die Verlegung des Verkehrs der Siemens-Schuckert-werke am Nonnendamm von Charlottenburg nach Spandau.

Verkehr am Ortsgüterschuppen in Spandau.

In der Zeit vom 1. April	bis 31. März	Am Ortsgüterschuppen behandelte Güter: Versand t	Empfang t	Zusammen Empfang und Versand t	Tagesdurchschnitt t	Höchstzahl an einem Tage t
1895	1896	8 792	8 098	16 890	46	—
1896	1897	7 059	7 867	14 926	41	—
1897	1898	8 475	9 622	18 097	50	—
1898	1899	10 778	11 366	22 144	61	—
1899	1900	9 043	12 546	21 589	59	—
1900	1901	8 554	14 823	23 377	64	—
1901	1902	8 805	13 594	22 399	61	99
1902	1903	8 154	13 229	21 383	59	104
1903	1904	8 653	12 340	20 993	58	117
1904	1905	8 848	18 402	27 250	75	125
1905	1906	9 367	20 180	29 547	80	134
1906	1907	11 387	37 766*)	49 153*)	135	245
1907	1908	15 504	41 002	56 506	155	284
1908	1909	19 066	42 487	61 553	169	283

*) Zunahme infolge Verlegung des Eilgutverkehrs vom Personen- zum Güterbahnhof.

Die Zunahme des Wagenladungsverkehrs auf dem Güterbahnhof ist aus nachfolgender Zusammenstellung ersichtlich.

Zunahme des Verkehrs auf den Freiladegleisen des Güterbahnhofs Spandau.

In der Zeit		Auf den Freiladegleisen be- und entladene Wagen		Zusammen Empfang und Versand	Tagesdurchschnitt
vom 1. April	bis 31. März	Versand Stück	Empfang Stück	Wagenzahl	Wagenzahl
1895	1896	1 424	6 562	7 986	26
1896	1897	—	6 322	6 322	21
1897	1898	1 608	5 158	6 758	22
1898	1899	1 664	6 882	8 546	28
1899	1900	2 083	8 261	10 344	34
1900	1901	2 052	9 728	11 780	39
1901	1902	2 131	8 706	10 837	36
1902	1903	1 877	8 642	10 519	35
1903	1904	2 480	8 002	10 482	35
1904	1905	3 054	9 169	12 223	41
1905	1906	5 958	10 245	16 203	54
1906	1907	6 686	14 016	20 702	69
1907	1908	6 991	14 100	21 091	71
1908	1909	12 483	12 445	24 928	83

Während im Jahre 1895 im Tagesdurchschnitt nur 26 Wagen laderecht zu stellen waren, mußten 13 Jahre später im Jahre 1908 83 Wagen behandelt werden, was einer Verkehrszunahme von 219 vH. oder durchschnittlich jährlich 16,9 vH. entspricht. Die Zunahme in den fünf Jahren von 1903 bis 1908 betrug sogar 137 vH. oder durchschnittlich jährlich 27 vH. Diese außergewöhnliche Verkehrssteigerung ist auf den großen Aufschwung zurückzuführen, den Spandau in den letzten Jahren erfahren hat.

Der tägliche Wageneingang an der Umladehalle in Spandau betrug im Jahre 1908 — dem Jahre vor ihrer Außerbetriebsetzung — durchschnittlich etwa 115 Wagen, mit zusammen rd. 300 Tonnen, die sich mit etwa 140 Tonnen auf die Hamburger, 140 auf die Lehrter Bahn und 20 Tonnen auf den Ortsverkehr von Spandau verteilten.

Sämtliche Anlagen des vereinigten Verschiebe- und Güterbahnhofs waren für den vorhandenen Verkehr unzureichend, insbesondere war der Betrieb innerhalb des Bahnhofs durch die vielen Überschneidungen der Hauptgleise in Schienenhöhe recht ungünstig beeinträchtigt (Abb. 3 Bl. 33 bis 35). Die vereinigten Hamburger und Lehrter Personengleise wurden in km 12,7 + 50 durch das Anschlußgleis nach den Artilleriewagenhäusern gekreuzt, in km 13,0 + 80 lag eine Kreuzung des Personengleises Hamburg — Berlin mit dem Personengleise Berlin — Lehrte; in km 13,1 + 80 überschnitten sich die beiden Lehrter Personengleise mit den beiden Hamburger Gütergleisen; in km 13,3 + 30 kreuzte das Gütergleis Berlin — Hamburg das Personengleis Hamburg — Berlin; endlich lagen in km 13,8 + 70 und 14,1 + 20 Kreuzungen der Lehrter Gütergleise mit dem Personengleis von Lehrte. Die Überführungszüge zwischen dem Güterbahnhof und dem Personenbahnhof (Anschlußbahnhof für die militärischen Institute) mußten auf den Personengleisen verkehren.

Die Anlagen für den Ortsgüterverkehr, der Ortsgüterschuppen und die Freiladegleise waren für den vorhandenen Verkehr unzulänglich; Raum zur Herstellung neuer Ladestraßen war nicht vorhanden.

Die Einrichtungen für den Umladeverkehr enthielten nur zwei Ladegleise, die nur schwer zugänglich und mit den übrigen Bahnhofsgleisen unzweckmäßig verbunden waren. Besondere Aufstellgleise für die angekommenen und abgefertigten Umladewagen waren nicht vorhanden. An dem Umladeschuppen standen nur 340 m Gleis zur Verfügung. Bei den im Tagesdurchschnitt zu behandelnden 115 Wagen kamen auf jeden Wagen nur rd. 3 m Gleislänge, was einem fast dreimaligen Umschlag am Tage und einem rd. nur achtstündigen Aufenthalt der Wagen an der Halle entspricht.

Verschiebeverkehr. Von großer Bedeutung war auf dem Bahnhof Spandau, wie es auch seiner Eigenschaft als Übergangsstation und Knotenpunkt wichtiger Bahnstrecken entspricht, der Verschiebeverkehr. In verkehrsstärksten Wintermonaten wurden täglich 4600 Achsen im Ein- und Ausgang behandelt. Hierzu waren auf dem Verschiebebahnhof drei Ordnungsgruppen vorhanden.

Verschiebegruppe I (Abb. 3 Bl. 33 bis 35) diente zur Zerlegung der in Spandau endigenden Züge, die aus der Richtung Berlin vom Nord- und Südring einliefen und Gut für die Richtungen Lehrte und Hamburg bunt führten, ferner zur Ordnung der vom Hamburger Güterbahnhof und von Berlin kommenden Lehrter Züge. Letztere wurden zwar auf dem Hamburger Bahnhof stationsweise für die Richtung Lehrte geordnet abgelassen, nahmen aber in Moabit, wo es an den wichtigen Gleisen zum Ordnen nach Stationen fehlt, das mit den Nordringzügen dort eingegangene Übergangsgut und das Moabiter Gut bunt auf. Die Ringzüge und die in Moabit eingestellten Zugteile wurden in Spandau vollständig aufgelöst und nach den beiden Richtungen ausgesondert. Der auf dem Hamburger Bahnhof gebildete Zugteil wurde zerlegt und zur Vollbelastung ergänzt. Stationsweise wurde für die Lehrter Strecke bis Stendal geordnet. Der Gruppe I lag außerdem die Bedienung des Umladeschuppens ob.

Gruppe II diente zur Behandlung der aus der Richtung Lehrte und Hamburg einlaufenden Züge, die bereits nach drei Wagengruppen gesondert ankamen. Die Züge von Hamburg enthielten die Gruppen: 1. Moabit und Nordring, 2. Berlin, Hamburger Güterbahnhof, 3. Spandau und Südring; die Züge der Richtung Lehrte die Gruppen: 1. Moabit und Nordring, 2. Berlin, Hamburger Güterbahnhof, 3. Spandau, Stadtring und Ostbahnhof (Lichtenberg-Friedrichsfelde).

In Spandau blieb nur die Gruppe 3 und wurde hier nach Ortsgut, Umladegut, Gut für Anschlußinhaber, für die Stationen des Südrings und für die Ostbahn zerlegt.

Die Südringladungen wurden nach der Reihenfolge der Stationen zusammengesetzt und als besondere Südringzüge abgelassen. Das Gut für die Ostbahn wurde gesammelt und in besonderen Zügen bis Küstrin durchgeführt.

Die Verschiebegruppe III war für die vom Hamburger Güterbahnhof in Berlin kommenden Hamburger Züge bestimmt und hatte auch einige Ringzüge aufzunehmen. Stationsweise wurde für die Hamburger Strecke bis Wittenberge geordnet. Der Gruppe III lag außerdem die Bedienung des Ortsgüterschuppens, der Vieh- und der Kopframpe ob.

Auch die Anlagen für den Verschiebeverkehr waren gegenüber den gesteigerten Verkehrsanforderungen sowohl ihrer Anordnung wie ihrem Umfange nach völlig unzulänglich. So war einerseits das Ordnen außerordentlich erschwert, zeitraubend und kostspielig, anderseits mußte ein erheblicher Teil der Verschiebearbeiten, die naturgemäß in Spandau ausgeführt werden mußten, auf eine Anzahl anderer Stationen verwiesen werden.

Die aus der Gleisanordnung entspringenden Unzuträglichkeiten erhellen schon aus den umständlichen Überführungen, die zwischen den verschiedenen Bahnhofsteilen notwendig waren. Das in der Ordnungsgruppe I ausgesonderte Hamburger Gut mußte bei dem Übersetzen nach Gruppe III bis über die Nauener Straße unter Zurücklegung eines Weges von mehr als 1 km vorgezogen und fast um dieselbe Wegelänge zurückgedrückt werden, wobei alle Güterhauptgleise zu kreuzen waren. Mit welchen Unzuträglichkeiten die Bedienung der Anlagen für den Ortsgüterverkehr verbunden war, zeigt ein Blick auf den Gleisplan (Abb. 3 Bl. 33 bis 35). Sehr ungünstig lagen die Verhältnisse für die Ordnung nach Stationen der nach Hamburg abgehenden Züge. Gruppe III enthielt nur vier Gleise; hier war wiederholtes Vorziehen und Zurücksetzen auf den einzelnen Gleisen notwendig, wobei jedesmal die Hamburger Gütergleise, zum Teil auch die Lehrter Personengleise gekreuzt werden mußten.

In welcher Weise verschiedene Berliner Bahnhöfe, insbesondere Moabit, Westend und der Hamburger Güterbahnhof, dem Bahnhof Spandau aushelfen mußten, wurde schon zum Teil angedeutet. Die Züge mußten aus der westlichen Richtung bereits in drei Gruppen geordnet in Spandau ankommen. Diese Sonderung wurde in Stendal und Wittenberge ausgeführt. Die Mitwirkung der genannten Stationen konnte wegen der unzureichenden Anlagen in Spandau nicht entbehrt werden, war aber betriebstechnisch unzweckmäßig und durchaus unwirtschaftlich. Auch konnten die Bahnhöfe Stendal und Wittenberge die ihnen notgedrungen zugewiesene Arbeit des gruppenweise Verordnens zu Zeiten starken Verkehrs, wo eine gute Ordnung der Züge besonders notwendig gewesen wäre, nicht ausführen, so daß die Wagen der einzelnen Gruppen bei der Ankunft in Spandau dann an verschiedenen Stellen im Zuge standen. Auch ging der Vorteil des Vorordnens zum Teil wieder dadurch verloren, daß auf den Unterwegsstationen nicht immer gruppenweise beigestellt werden konnte. Alsdann mußte Spandau größere Umordnungen vornehmen, hatte aber hierfür keine besonderen Gleise und war gezwungen, wo gerade Platz war, Gleise in Anspruch zu nehmen, die für andere Zwecke bestimmt waren, wobei Störungen in den nötigsten Verschiebegeschäften unvermeidlich waren.

Neben den Ordnungsarbeiten, die für die Bildung neuer und für die Umbildung durchgehender Züge notwendig waren, fielen dem Verschiebebahnhof Spandau noch umfangreiche Verschiebeleistungen im inneren Verkehr durch die Bedienung der Gleisanschlüsse zu. An den Personenbahnhof schließt östlich bei km 11,25 der Anschlußbahnhof für die militärischen Institute — Artilleriewerkstatt, Gasanstalt, Geschützgießerei, Gewehr- und Munitionsfabrik — mit einigen Aufstellgleisen und weiter hin aus den Hauptgleisen der freien Strecke in km 10,8 abzweigend der Auswandererbahnhof Ruhleben an. Im Güterbahnhof befanden sich nördlich in km 12,75 das Anschlußgleis nach den Artilleriewagenhäusern, östlich ein Anschluß an eine Umschlagstelle an der Havel, westlich die Anschlüsse nach dem städtischen Schlachthof und den Fabriken von van Bärle u. Sponnagel und Orenstein u. Koppel. Zur Bedienung dieser Anschlüsse war eine vierte Verschiebemaschine im Tagesdienst tätig. Allein zur Bedienung des Anschlusses der militärischen Anstalten und zur Vermittlung des Eilgutverkehrs zwischen Güter- und Personenbahnhof verkehrten täglich bis zu 24 Züge, die häufig bis zu 80 Achsen stark waren und die zweigleisige Strecke zwischen dem Personen- und Güterbahnhof so belasteten, daß die Züge nur schwer durchzuführen waren.

Kreuzung der Straßen und der Havel.

Die Personen- und die Gütergleise kreuzten zahlreiche verkehrsreiche Straßen der Stadt Spandau in Schienenhöhe und überschritten die Havel mittels zweier Brücken. Bei dem lebhaften Verkehr am Stresow und an der Klosterstraße (Text-Abb. 2) bildeten diese Kreuzungen große Gefahrpunkte sowohl für den Eisenbahnbetrieb wie für den Straßenverkehr. Nach bereits im Jahre 1901 angestellten Zählungen überschritten den Bahnübergang am Stresow täglich in der Zeit von 5 Uhr morgens bis 11 Uhr abends durchschnittlich etwa 1100 Fußgänger und 700 Fuhrwerke und Treibvieh, den Übergang der Klosterstraße über die Personengleise 11 700 Fußgänger, 1500 Fuhrwerke und Treibvieh und 250 — an Sonntagen bis 600 — Straßenbahnwagen. Seitdem hat sich der Verkehr ganz bedeutend vergrößert.

Die beiden Havelbrücken bildeten ebenfalls Gefahrpunkte für den Bahnbetrieb und vielbeklagte Schiffahrtshindernisse. Die Schiffahrt litt besonders unter dem Umstand, daß die Fahrzeuge zwei nahe beieinander liegende Brücken zu durchfahren hatten, die beide von der überwiegenden Mehrzahl der Schiffe, sei es infolge ihrer Bauart mit hohem Deck, wegen hoher Beladung oder höheren Wasserstandes nur in geöffnetem Zustande durchfahren werden konnten und deren

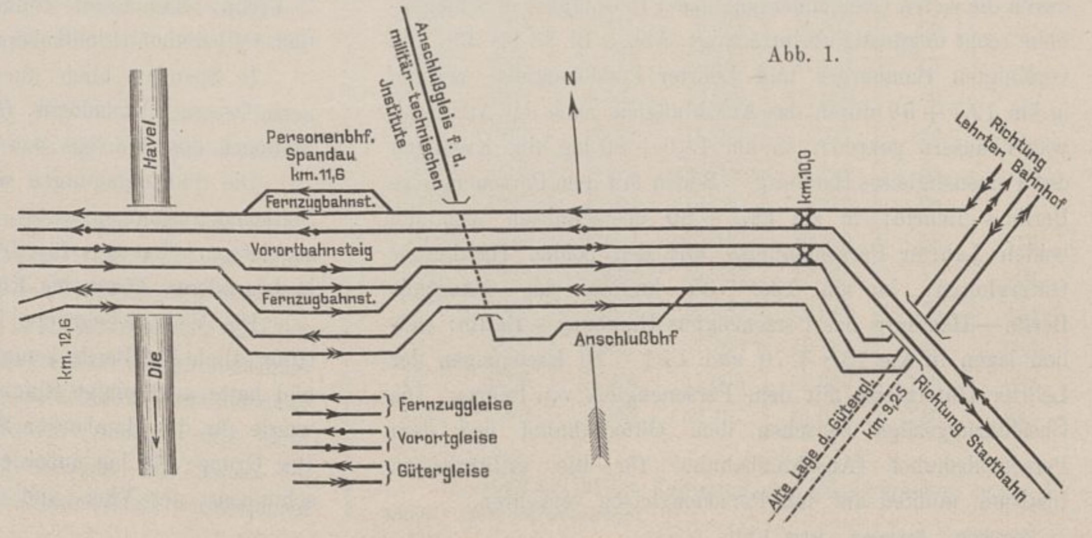


Abb. 1.

Öffnungszeiten, die sich nach dem Gange der Züge auf den beiden Bahnstrecken richteten, niemals zusammenfielen. An verkehrsreichen Tagen stieg die Zahl der Schiffe schon im Jahre 1901 bis auf über 300. Welche Aufenthalte der größte Teil der Fahrzeuge erfuhr, ist daraus zu ermessen, daß die Brücke im Zuge der Gütergleise während 24 Stunden nur etwa 8 Stunden lang geöffnet war, während die Brücke im Zuge der Personengleise innerhalb 24 Stunden sogar nur insgesamt 4 Stunden lang (in Zeiträumen von 10 bis 25 Minuten) — an Sonntagen noch weniger — geöffnet war.

D. Die Umgestaltung der einzelnen Bahnanlagen.

I. Grundgedanken für den Umgestaltungsentwurf.

Nach den geschilderten Mängeln mußte der Entwurf zur Umgestaltung der Bahnanlagen in der Hauptsache folgende Forderungen erfüllen:

1. Die vielen Kreuzungen in den Haupt- und Nebengleisen, ferner sämtliche Straßenkreuzungen und die Drehbrücken in der Havel waren zu beseitigen. Dazu mußten die Hauptgleise innerhalb von Spandau so hoch gelegt werden, daß die Straßen als Unterführungen unter dem Eisenbahndamm hindurchgeführt werden konnten.

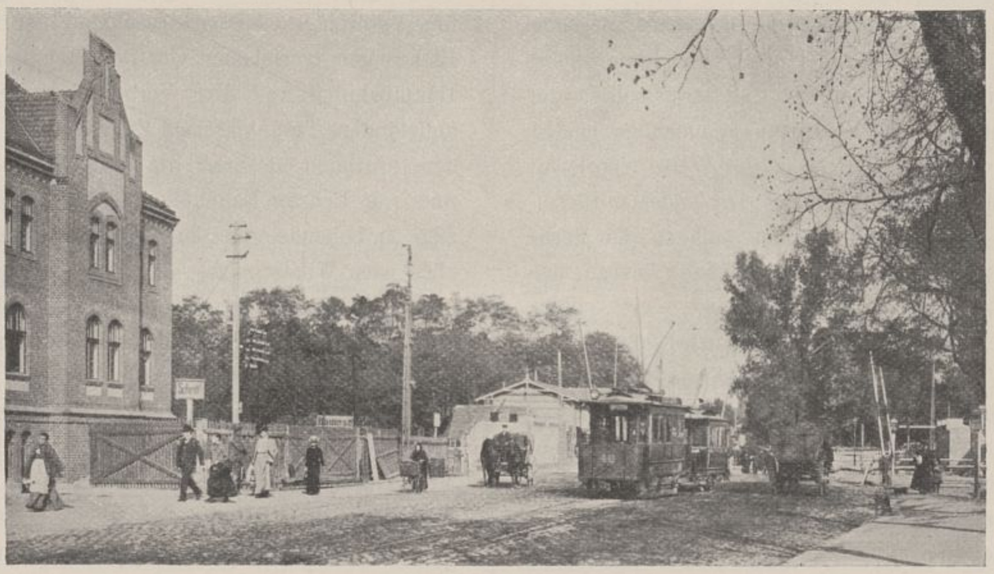


Abb. 2. Eisenbahnübergang an der Klosterstraße vor dem Umbau.

2. An der örtlichen Lage der jetzigen Anlagen für den Personenverkehr auf dem östlichen Havelufer war nichts zu ändern, weil die Anlage auf dem vorhandenen Gelände am wirtschaftlichsten ist und die örtlichen Verhältnisse Spandaus eine Verlegung nicht für geboten erscheinen ließen. Die Gleisanlagen zwischen Ruhleben und Spandau waren so auszubilden, daß sie auch einem steigenden Verkehr für absehbare Zeit gewachsen sind. Die Entwicklung des Stadtteils auf dem rechten Havelufer war durch Anlage eines neuen und leistungsfähigen Vorortbahnhofs Spandau (West) sicherzustellen. Er wird zugleich den Hauptpersonenbahnhof — besonders im Ausflugsverkehr — zweckmäßig entlasten.

3. Auch der Güterbahnhof war an der jetzigen Stelle westlich der Havel zu belassen, weil der Bahnhof günstig zur Stadt gelegen und seine Anlage hier am wirtschaftlichsten ist. Der Eilgutverkehr war vom Personenbahnhof nach dem Güterbahnhof zu verlegen. Die Gleisanschlüsse mußten unter Beseitigung der Schienenkreuzungen ausgebildet und westlich der Havel für die Anschlüsse von den militär-technischen Instituten, von Siemens u. Halske und der Hafenbahn ein besonderer Betriebsbahnhof angeordnet werden. Da das früher gemeinsam für den Verschiebe- und Güterbahnhof vorhandene Gelände für die Erweiterung des Güterbahnhofs allein voll erforderlich war, so mußten:

4. die Anlagen für den Verschiebeverkehr an eine andere, günstigere Stelle verlegt werden, wo alle Arbeiten auf möglichst rasche, einfache und daher auch wirtschaftlich günstige Art bewältigt werden können. Es konnte sich also nicht darum handeln, Anlagen zu schaffen, mit denen die Arbeit, die der Verschiebebahnhof Spandau vorher mit untauglichen Anlagen unter großen Schwierigkeiten und mit hohen Kosten leistete, sich glatt erledigen lassen; die Anlagen mußten vielmehr so ausgestaltet werden, daß die Mitarbeit verschiedener in- und außerhalb Berlins gelegener Stationen entbehrt werden konnte. Der Verzicht auf die Mitarbeit der Stationen in Berlin war um so notwendiger, als es bei der andauernden Verkehrszunahme angezeigt war, die hier in Frage kommenden Bahnhöfe, nämlich den Hamburger Güterbahnhof, Moabit und Westend, die mit großen Schwierigkeiten kämpften, selbst aber teils überhaupt nicht, teils nur mit hohen Kosten erweiterungsfähig sind, wirksam zu entlasten. Aus den gleichen Gründen war es notwendig, die über die Gebühr beanspruchten Vorstationen von Berlin, die Bahnhöfe Rathenow, Stendal und Wittenberge zu entlasten. Das Ziel, das bei Ersatz des Spandauer Verschiebebahnhofs anzustreben war, mußte demnach dahin gehen, Einrichtungen zu schaffen, die es ermöglichen — abgesehen von den wenigen durchgehenden Zügen (Eilgüter- und Leerwagenzügen) — alles Gut von Osten und von Westen und der noch weiter unten erwähnten Umgehungsbahn bunt nach dem neuen Verschiebebahnhof zu werfen und dort mit den zweckmäßigsten, dem stetig wachsenden Verkehr entsprechenden Einrichtungen leicht, sicher und mit möglichst geringen Betriebskosten zu neuen Zügen zu ordnen.

II. Führung der Gleise durch Spandau; Wege- und Vorflutanlagen.

Von wesentlichem Einfluß auf die Gestaltung des Entwurfs war die vom Standpunkte des Eisenbahn- und Schifffahrtbetriebes zu stellende Forderung, die beiden Havelbrücken zu beseitigen und die neuen festen Brücken so hoch zu legen, daß eine Behinderung des Schiffsverkehrs vermieden wird. Hieraus ergab sich die Notwendigkeit einer Hochlegung der Personengleise, die gleichzeitig die Beseitigung sämtlicher Straßenübergänge ermöglichte. Im einzelnen war für die Höherlegung der Gleise innerhalb des Stadtgebietes die Bedingung zu erfüllen, die Straßenkrone der unterführten städtischen Straßen nicht unter das höchste Hochwasser der Havel (+ 31,25) zu legen, auch die Möglichkeit der Entwässerung der Straßenunterführungen, deren Durchfahrthöhen zwischen 3,8 und 4,2 m schwankten, mit natürlichem Gefälle

aufrecht zu erhalten. Hierzu wurden die Gleise durchschnittlich etwa 4 m gehoben.

Um die Durchschneidung des östlichen Stadtteiles durch zwei Bahnstrecken zu vermeiden und eine möglichst günstige Gestaltung des neuen Güterbahnhofs zu erreichen, war es geboten, die Güterbahn zwischen Ruhleben und dem Güterbahnhof Spandau zu verlassen, die Gütergleise an die Personengleise heran zu legen und südlich neben diesen durch den Personenbahnhof zu führen. Hierdurch wurde gleichzeitig die Möglichkeit geschaffen, die Gütergleise für die Überführungsfahrten zwischen dem Personen- und Güterbahnhof nutzbar zu machen. Ferner wurde es, wie weiter unten erörtert werden wird, notwendig, die Gütergleise als besonderes Gleispaar bis zum neuen Verschiebebahnhof durchzuführen.

Nach dem Entwurfsplane vom Jahre 1907, als der Entwurf über die Herstellung besonderer Vorortgleise von Charlottenburg noch nicht vorlag, sollten die Gleise zwischen Ruhleben und dem Personenbahnhof nach der Linienskizze der Text-Abb. 1 eingeführt werden. Und zwar sollten die vom Lehrter Bahnhof und der Stadtbahn kommenden beiden Personengleispaare von km 10,0 an in der Weise viergleisig durch Spandau geführt werden, daß auf den beiden mittleren Gleisen der Vorort- und auf den beiden äußeren der Fernverkehr abgewickelt würde. Der viergleisige Ausbau der Strecke Ruhleben — Spandau sollte hierbei erst später ausgeführt werden. Nach diesem Entwurfe hätten vor dem Bahnhof die Vorortzüge nach dem Lehrter Bahnhof die Fernzüge nach Charlottenburg und die Vorortzüge vom Lehrter Bahnhof die Fernzüge von Charlottenburg kreuzen müssen. Diese Anordnung, bei der die Stadtbahngleise zwischen den Lehrter Gleisen liegen, verdiente hier den Vorzug, weil die Anzahl der zwischen Spandau und dem Lehrter Bahnhof verkehrenden Züge geringer ist als die auf den Stadtbahngleisen verkehrenden Spandauer Vorortzüge. Durch die Einführung der besonderen Vorortgleise von Charlottenburg in den Bahnhof Spandau erwies es sich jedoch als zweckmäßig, diese Betriebsführung zu verlassen und die Lehrter Gleise zwischen den Stadtbahngleisen anzuordnen (vgl. Abb. 4 Bl. 33 bis 35). Durch diese Gleisführung wurden nicht nur die vorher genannten Zugkreuzungen vermieden, sondern es wurde auch die Möglichkeit einer günstigen Geländeausnutzung gewonnen, indem das Gleis Lehrter Bahnhof — Spandau von km 8,5 bis 9,7 aus seiner alten Lage beseitigt und unmittelbar neben die anderen Lehrter Gleise gelegt wurde. Gleichzeitig konnte hierbei auf den späteren Ausbau besonderer Vorortgleise zwischen Lehrter Bahnhof und Spandau Rücksicht genommen werden.

In dem neuen Entwurfe sind nunmehr die Ferngleise von Charlottenburg, die gemeinsamen Fern- und Vorortgleise vom Lehrter Bahnhof sowie die besonderen Vorortgleise von Charlottenburg in den Bahnhof in Richtungen betrieben getrennt eingeführt. Im Grunderwerb und Unterbau wurde auch auf die Anordnung der besonderen Vorortgleise vom Lehrter Bahnhof Rücksicht genommen. Demnach sind die Personengleise vom Lehrter Bahnhof mit den zwischen ihnen geplanten besonderen Vorortgleisen etwa in km 9,3 + 50 unter dem ausgeschwenkten Ferngleis von Charlottenburg so durchgeführt, daß sie, in Richtungen betrieben, sich zwischen die Fernzuggleise von Charlottenburg legen. Etwa bei km 10,8 werden die von Pichelsberg kommenden besonderen Stadtbahn-Vorortgleise über die Gleise der Richtung West-Ost und die Gütergleise geführt und legen sich so in die Mitte zwischen die beiden Richtungen der vom Lehrter Bahnhof kommenden Gleise. Im Hauptbahnhof werden die besonderen Vorortgleise von Charlottenburg an einen besonderen Inselbahnsteig *B* geführt, an dem auch die Vorortzüge vom Lehrter Bahnhof, die auf den neben diesen liegenden Gleisen verkehren, geleitet werden. Für die Fernzüge ist den Gleisen vom Lehrter Bahnhof und von der Stadtbahn ein gemeinsamer Richtungsbahnsteig *A* zugewiesen, ebenso für die andere Richtung der Bahnsteig *C*. Bei dieser Gleisanordnung, durch die Kreuzungen der regelmäßigen Zugfahrten vermieden werden, ist in dem Bahnhof eine Scheidung der Züge nach Vorort- und Fernverkehr durchgeführt.

Während den Gleisen zwischen Ruhleben und Spandau vorläufig nur zum Teil gleichartige Zuggattungen — Fern- und Vorortzüge — zugewiesen sind, ist für die gleichfalls in Richtungen betriebenen vier Personengleise zwischen Spandau Hauptbahnhof und dem Vorortbahnhof Spandau (West) eine vollständige Trennung nach Zuggattungen durchgeführt, indem dem mittleren Gleispaar die Vorortzüge — von der Stadtbahn und vom Lehrter Bahnhof (einschl. der betrieblich als Vorortzüge zu behandelnden, in Spandau (West) haltenden Personenzüge nach Wustermark) —, den äußeren dagegen die Fernzüge — von der Stadtbahn und vom Lehrter Bahnhof — zugewiesen sind. Hierzu werden die vier im Hauptbahnhof dem Fernverkehr dienenden Bahnsteiggleise westlich von den Bahnsteigen in zwei Gleise zusammengezogen. Durch diese Betriebsführung war in dem Vorortbahnhof Spandau (West) der Fernverkehr von dem Vorortverkehr ohne weiteres geschieden. Während die beiden Ferngleise den Bahnhof Spandau (West) umfahren, gabeln sich die beiden Vorortgleise in drei Bahnsteiggleise, die am westlichen Ende in eine Kehranlage zusammengeführt sind.

Durch die in den durchgehenden Gleisen neben den Kehrgleisen von Spandau (West) gelegenen Weichenverbindungen 53/54, 59/60, 57/58 und 55/56 werden die Züge in der Weise umgeleitet, daß die östlich von Spandau (West) nach Zuggattungen betriebenen Strecken nunmehr wieder nach Strecken gemischter Zuggattungen betrieben werden, indem die inneren Gleise sämtliche Fern- und Vorortzüge der Richtung Hamburg aufnehmen. Die Trennung der Lehrter von der Hamburger Strecke erfolgt alsdann in km 14,5, indem das Gleis nach Lehrte über die Hamburger Gleise hinweggeführt ist. Bei dieser Linienführung sind in dem Bahnhof Spandau (West) noch Kreuzungen von Zugfahrten vorhanden, einerseits zwischen den Fernzügen nach Hamburg und den in Spandau (West) haltenden Zügen von Wustermark, anderseits zwischen den Fernzügen von Hamburg und den Personenzügen nach Wustermark. Die Beseitigung dieser Kreuzungen ist für später durch Ausbau der in Abb. 4 Bl. 33 bis 35 zwischen km 13,4 und 14,8 in gestrichelten Linien dargestellten Gleise und Weichen beabsichtigt. Im weiteren Verlauf erreichen dann die Lehrter Gleise mittels einer zuerst südlichen, dann westlichen Schwenkung mit 1 : 150 fallend etwa bei km 15,7 die Lehrter Strecke, von wo sie bis zum Verschiebebahnhof Wustermark parallel zu den bestehenden, nunmehr nur dem Güterverkehr dienenden Gleisen entlang geführt sind. Die Höhenlage und Neigungen der Gleise sind im einzelnen aus dem Längenschnitt der Abb. 5 Bl. 33 bis 35 ersichtlich.



Abb. 3. Alte Haveldrehbrücke mit einem Überbau der neuen Brücke für die Personengleise.

Die Hauptpersonengleise haben Schienen der Form 15 auf hölzernen Querschwellen, zum größeren Teil in Steinschlagbettung erhalten. Für die Güter- und Nebengleise sind Schienen der Form 6 und 8 in Kiesbettung verwendet worden. Die Mehrzahl der Weichen haben Neigungen 1 : 9. Für die Trennungs- und Anschlußweichen zweier Hauptfahrrichtungen sind jedoch mit Rücksicht auf das ruhigere Befahren durchweg Weichen 1 : 14 mit einem Halbmesser von 500 m verlegt worden.

Die Gütergleise sind östlich von Spandau etwa in km 9,3 aus ihrer alten Lage abgelenkt und den Personengleisen gleichlaufend durch Spandau geführt worden. Nach Überschreitung der Havel und der Klosterstraße fallen sie mit 10 vT. (1 : 100), schwenken bei km 12,6 nach Südwesten und münden in den Güterbahnhof ein. In diesem steigen sie von km 12,85 mit 2,5 vT. (1 : 400) zusammen mit den Gleisen des Güterbahnhofs zur Nauener Straße an, um zur Durchführung dieser die nötige Höhe zu gewinnen, und fallen weiter westlich mit 3,3 vT. (1 : 300) und münden in km 14,5 in die alte Lehrter Strecke ein. Hier verbleiben sie in der Lage der früheren Lehrter Gleise bis km 24,0, dem Anfangspunkte des Verschiebebahnhofs Wustermark, der zwischen den entsprechend auseinandergezogenen Gleisen angeordnet ist. An seinem Westende entwickeln sich dann die Gleise unter Vermeidung von Kreuzungen in Schienenhöhe zum Anschluß an die bestehenden Bahnen nach Lehrte, Nauen (Hamburg) und Wildpark.

Der Elsgraben (km 10,02), Schlangengraben (km 11,37) und die Vorflutbrücke (km 10,95), die sämtlich östlich vom Personenbahnhof Spandau gelegen sind, sind zugeschüttet worden, weil, wie vorn erwähnt, für die Vorflut in anderer Weise gesorgt worden ist. An Stelle der alten im Zuge der Personengleise gelegenen Havelbrücke mit ihren sechs kleineren Durchfahröffnungen und der Drehbrücke ist eine feste Brücke mit einer lichten Durchflußöffnung von 55,15 m und einer Stützweite von 60 m getreten (Abb. 4 u. 5 Bl. 33 bis 35 und Text-Abb. 3). Die Brücke besteht aus drei zweigleisigen Überbauten, deren Hauptträger Fachwerkträger mit wagerechter unterer und gekrümmter oberer Gurtung sind. Die Unterkante der Überbauten liegt 4 m über dem Hochwasser. Am westlichen Ufer ist neben dem Widerlager ein 1,25 m breiter Leinpfad angeordnet. Um für den früher vorhandenen, nördlich neben der Eisenbahnbrücke über die Havel führenden 4 m breiten Fußgängersteig einen besonderen Übergang zu ersparen, ist auf der Nord- und Südseite der Brücke je ein 2 m breiter Fußsteig ausgekragt und mit 1 : 12 geneigten Rampen nach den anliegenden Straßen heruntergeführt. Die aus Klinkermauerwerk hergestellten Widerlager der Havelbrücke sind auf Pfahlrost zwischen Spundwänden gegründet.

Die alte südliche Havelbrücke der ehemaligen Gütergleise geht in das Eigentum der Stadtgemeinde Spandau über, die sie zu heben und in eine Straßenbrücke umzubauen beabsichtigt.

An Straßen- und Eisenbahn-Über- und Unterführungen waren in und bei Spandau im ganzen 18 zu erbauen. In



Abb. 4. Überführung der besonderen Vorortgleise Heerstraße — Spandau über die Chaussee Charlottenburg — Spandau und die Hafengleise (Ansicht von Osten).

km 9,05 der Lehrter Bahn wird zunächst, um das Kraftwerk der elektrischen Hoch- und Untergrundbahn und das dazu gehörige Gelände zugänglich zu machen, eine von der Charlottenburger Chaussee abzweigende Straße auf eisernen Überbauten über die Personen- und Gütergleise geführt. Die in km 10,02 im Zuge des Elsgrabens angelegte, 14,7 m weite Wegunterführung mit eisernen Überbauten diente als Zugang zur Trabrennbahn Ruhleben. Die von Pichelsberg kommenden besonderen Vorortgleise sind südlich von km 10,6 über die Spandauer Chaussee mit Straßenbahn durch die aus Text-Abb. 4 ersichtlichen eisernen Überbauten auf schmiedeeisernen Zwischenstützen geführt. Daneben sind ferner drei Gleise der Spandauer Hafenbahn hindurchgeführt (Abb. 4 Bl. 33 bis 35). Den Verkehr zwischen dem Gelände nördlich und südlich der Bahnanlagen vermitteln weiter: östlich der Havel die Unterführungen des Spandauer Weges, der Freiheit, der städtischen Straße unter dem Personenbahnhof und des Stresow; westlich der Havel: die Unterführung der Straßburger Straße, der Klosterstraße, der Staakener und der Nauener Straße (unter den Personen- und Gütergleisen). Der ehemalige Wegübergang in Schienenhöhe der Straße 14 bei km 14,26 der Lehrter Bahn ist durch eine Fußwegüberführung ersetzt. Die genannten Unterführungen bilden Ersatz für elf Wegübergänge in Schienenhöhe.

Die Widerlager der Unterführungen sind aus Beton hergestellt. Die lichten Weiten und Durchfahrhöhen der Unterführungen sind aus dem Längenschnitt (Abb. 5 Bl. 33 bis 35) zu ersehen. Die Unterführungen des Spandauer Weges, der Freiheit, der Straßburger Straße und Nauener Straße haben eiserne Überbauten ohne Zwischenstützen, die Unterführungen des Stresow und der Klosterstaße eiserne Überbauten mit Zwischenstützen erhalten. Die Farbahntafel der Unterführung der städtischen Straße am Personenbahnhof und der Staakener Straße besteht aus Walzträgern mit Betonkappen. Die Gründungen der einzelnen Bauwerke sind sehr verschieden, weil der Baugrund in Spandau — diluvialen Ursprungs — stellenweise so schnell wechselt, daß wenige Meter neben gutem Baugrunde ganz ungünstiger zu finden ist. Neben Gründungen zwischen Spundwänden kommen solche auf Betonpfählen und Senkbrunnen vor.

Alle Straßen liegen an den Unterführungsstellen über dem höchsten Hochwasser und konnten eine natürliche Entwässerung erhalten, mit Ausnahme der Unterführung an der Nauener Straße unter den Gütergleisen. Hier war, um die Steigungsverhältnisse des Güterbahnhofs und die Privatanschlüsse westlich der Nauener Straße nicht zu ungünstig zu gestalten, eine Hebung der Gleise nur bis auf + 35,20 möglich. Um eine Durchfahrhöhe von 4,2 m für den Fahrdamm zu erreichen, mußte die Straßenkrone der Nauener Straße bis auf die Höhe + 30,0, d. h. 1,58 m unter Grundwasser, gesenkt werden. Hierzu wurde die Fahrbahn der Straße in einem wasserdichten Trog mit künstlicher Entwässerung angeordnet und so den Einflüssen des Grundwassers entzogen. Die Fußwege, die nur eine geringe Durchfahrhöhe erfordern, sind in ihrer jetzigen Höhenlage belassen. Abb. 8 und 9 Bl. 36 zeigen den Querschnitt der Unterführung mit Trog und die Ansicht.

Außer der um einen Überbau verbreiterten alten Überführung der Stadtbahngleise über die Gütergleise unweit km 9,3 sind fünf Gleisüberführungsbauwerke erforderlich geworden, nämlich die Bauwerke:

1. zur Überführung des Ferngleises von Charlottenburg über die Gleise vom Lehrter Bahnhof in km 9,35,
2. zur Einführung der besonderen Vorortgleise von Charlottenburg bei km 10,85,
3. Unterführung des militärischen Anschlußgleises in km 11,25,
4. Unterführung der Kleinbahn Bötzow — Spandau in km 13,94 und
5. Überführung des Personengleises nach Lehrte über die Hamburger Personengleise in km 14,5.

1. Die Gesamtanordnung der Unterführung in km 9,35 ist in Abb. 4 bis 7 Bl. 36 dargestellt. Hier ist das Ferngleis von Charlottenburg über vier Personengleise von und nach dem Lehrter Bahnhof geführt, von denen zwei — die späteren Vorortgleise — zunächst noch nicht hergestellt sind, und zwar sind, um an Flügelmauern zu sparen, vorläufig die beiden südlichen Gleise nicht ausgeführt. Das Bauwerk liegt in einer Geraden, die Schnittwinkel der oberen und unten liegenden Gleise schwanken zwischen $15^0\ 54'\ 8''$ und $16^0\ 47'\ 46''$. Um die Bauhöhe möglichst einzuschränken und trotzdem die Durchfahrt für die vier unten liegenden Gleise freizuhalten, hat die Überführung vier Öffnungen von je 20,70 m Weite erhalten, wodurch sich für das Bauwerk eine gesamte Stützweite von 82,8 m ergab. Die Stützen sind aus den Abb. 6 und 7 Bl. 36 und Text-Abb. 5 ersichtlich und sind als steife Rahmen mit zwei Fußgelenken ausgebildet. Die Portale sind Pendelportale. Am westlichen Widerlager ist das feste Auflager angeordnet und durch einen kräftigen Bremsbock gesichert. Das östliche Auflager ist beweglich. Die Hauptträger sind Blechbalken, die über den Portalen geschlitzt sind, wodurch das ganze Bauwerk statisch bestimmt wird. Die Brückenbreite ist 3,7 m. Die Fahrbahn ist offen aus hölzernen Querschwellen gebildet und wird von den Längsträgern getragen, die zwischen den Querträgern eingespannt sind. Der Windverband ist K-förmig, in der Mitte jeder Öffnung ist ein Bremsträger vorgesehen. Die Widerlager- und Pfeilergrundmauern sind aus Beton hergestellt und zum Teil auf Senkbrunnen gegründet.

2. Eine besondere Beachtung verdient ferner das etwa bei km 10,85 gelegene Bauwerk, durch das die besonderen Vorortgleise von Charlottenburg über die Gleise der Hamburger und Lehrter Bahn in den Personenbahnhof eingeführt werden (Text-Abb. 6). Wie aus dem Lageplan Abb. 4 Bl. 32 zu ersehen ist, werden die beiden Vorortgleise von Pichelsberg in einem Halbmesser von 500 m über sechs Gleise — drei Personengleise der Richtung Spandau — Ruhleben, die beiden Gütergleise und ein Anschlußgleis nach den militärischen Instituten — geführt, mit denen sie einen Winkel von rund 19^0 bilden. Durch den schrägen Schnitt in Verbindung mit der Krümmung der obenliegenden Gleise ergab sich für das Überführungsbauwerk eine Stützweite von annähernd 110 m. Diese mit einem Überbau zu überspannen, war mit Rücksicht auf die Krümmung der oberen Gleise und die zur Verfügung stehende Bauhöhe nicht angängig. Die Brücke wurde daher durch vier Portalstützen in fünf Brückenöffnungen zerlegt, deren Hauptträger als Fachwerkkragträger mit eingehängten

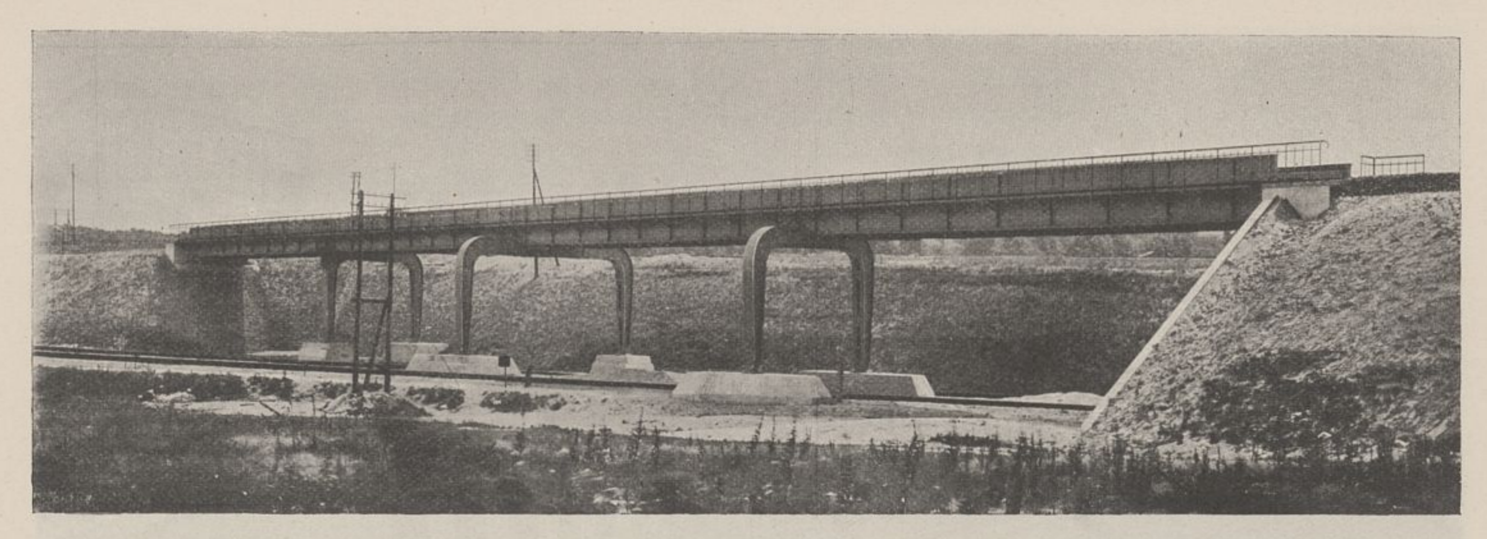


Abb. 5. Überführung des Ferngleises von Charlottenburg über die Gleise von und nach dem Lehrter Bahnhof in km 9,35.

Koppelträgern ausgebildet sind. Im Grundriß stellt sich die Brücke als ein sich aus dem Halbmesser der Vorortgleise ergebender Linienzug dar. Die Einzelanordnung der Auflager und Gelenke ist aus dem Linienbild der Abb. 3 Bl. 32 zu ersehen. Danach sind über den Portalen *b* und *c*, ebenso *d* und *e* Kragträger vorgesehen, zwischen denen drei Koppelträger eingehängt sind. An den beiden Enden der Brücke sind feste Auflager mit kräftigen Bremsböcken zur Aufnahme der Bremskräfte angeordnet. Um das ganze System statisch bestimmt zu machen, sind die durch die Unterzüge gebildeten Portale als Pendelportale ausgebildet; ferner ist in dem mittelsten Koppelträger bei *f* ein Blindstab eingeschaltet. Die Belastung für die Unterzüge wurde am günstigsten bei Anordnung von nur zwei Hauptträgern, die weiter den Vorteil mit sich brachten, daß die im Abstande von 3,5 m liegenden Gleise nicht auseinander gezogen zu werden brauchten. Die eingezogene Bahnachse der oben liegenden Gleise hat einen Halbmesser von 499,7 m, wodurch auf dem Überbau eine Schienenüberhöhung von 5 cm bedingt wird. Die seitliche Verschiebung der Wagen infolge Schrägstellung ist in Höhe der etwa 2 m hohen Obergurtung des Hauptträgers 6,6 cm. Danach wurde für den Kragträger von 24,4 m Länge eine Hauptträgerentfernung von 8,642 m errechnet. Die Hauptträger sind auf Unterzügen gelagert, die zwischen den überführten Gleisen unterstützt sind. Zur Übertragung der Schubkräfte sind an den Enden der Unterzüge Streben vorgesehen, die mit Rücksicht auf die unten liegenden Gleise, die nur beschränkte Verschiebungen zuließen, sämtlich verschiedenartig ausgebildet werden mußten (vgl. Abb. 5 bis 8 Bl. 32 Schnitt *b—b*, *c—c*, *d—d* und *e—e*). Beim Unterzug am Schnitt *c—c* wurde zur Aufnahme der Wind- und Fliehkräfte der Unterzug mit der einen Stütze steif verbunden, weil hier die Anordnung einer Strebe an dem über zwei Gleise hinweg verlängerten Unterzug unzweckmäßig erschien. Der Unterzug am Schnitt *d—d* wurde zur Verminderung der Momente an drei Stellen unterstützt und, um die Spannungen von den Stützensenkungen unabhängig zu machen, mit einem Gelenk versehen. Der Windverband ist K-förmig. Zur Erhöhung der Quersteifigkeit sind zwischen den Längs- und Querträgern jedes Gleises Diagonalstreben eingeschaltet, die

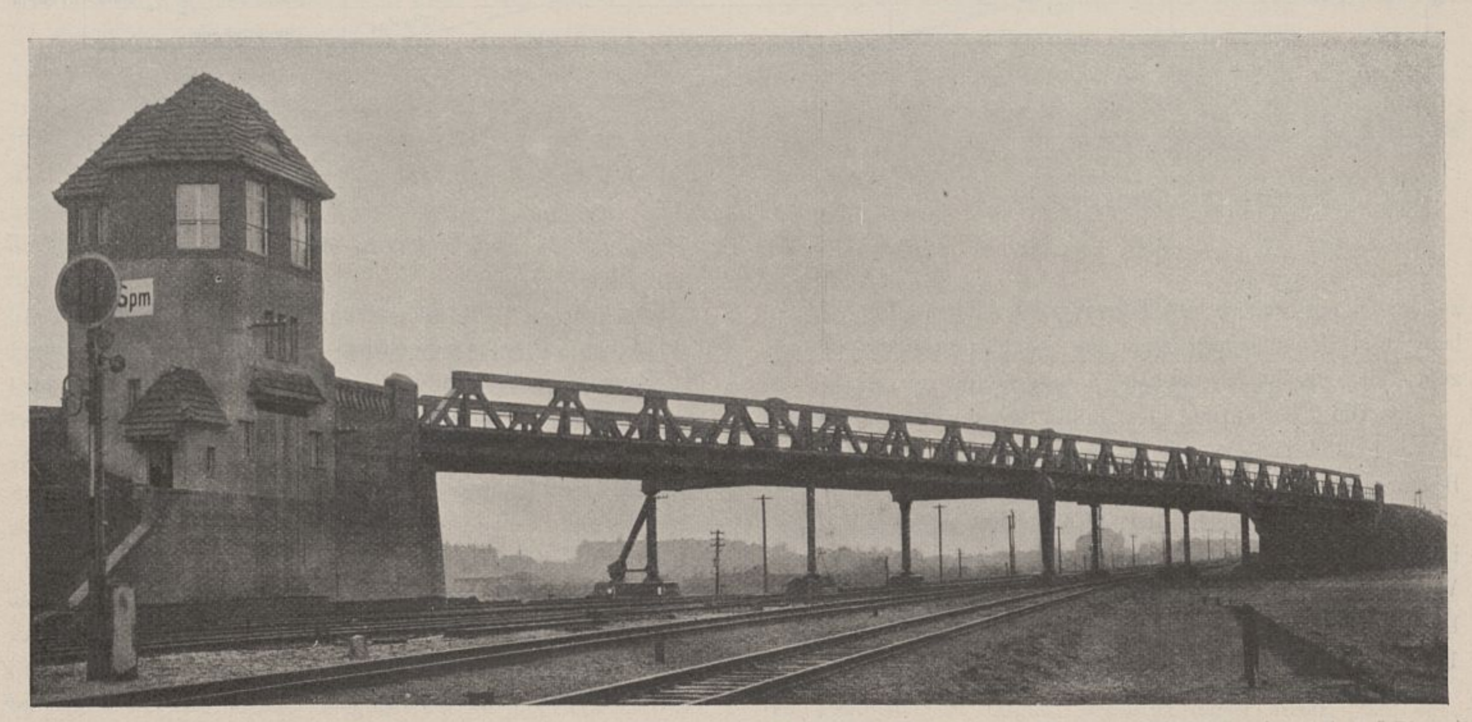


Abb. 6. Überführung der besonderen Vorortgleise Charlottenburg—Spandau über sechs Gleise.
Ansicht von Osten.

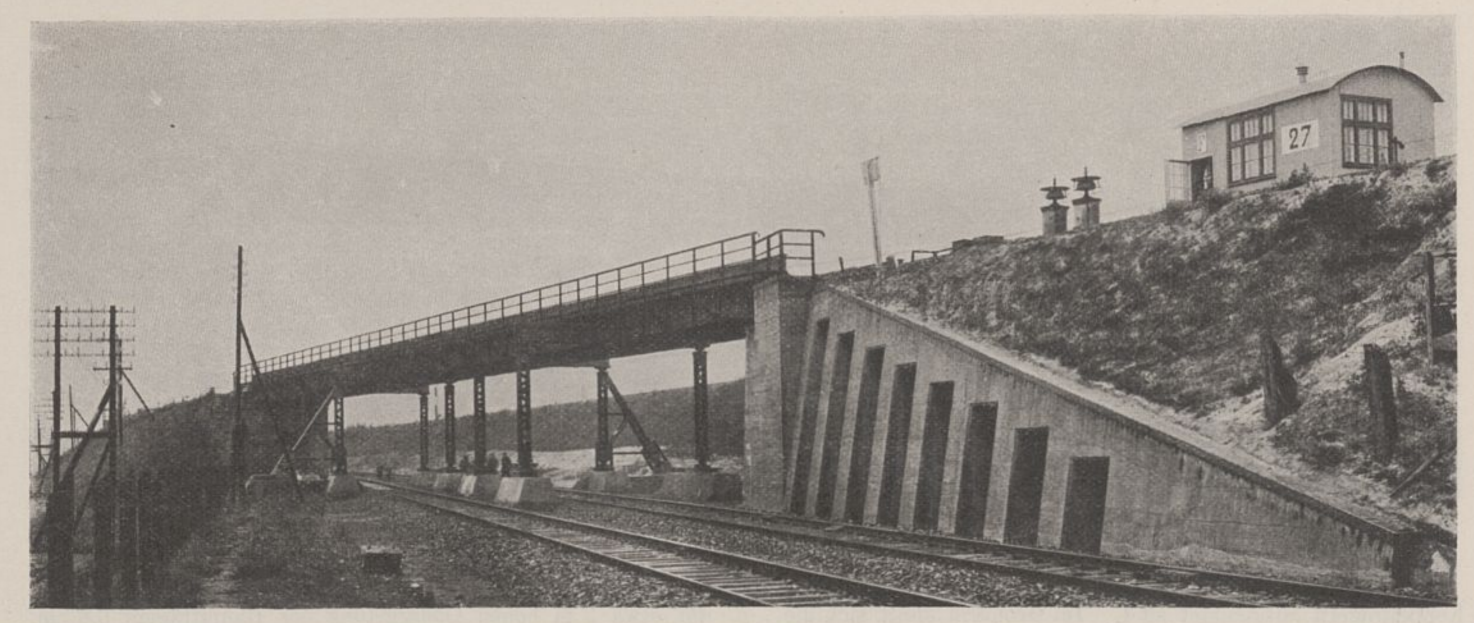


Abb. 7. Ansicht von Osten.

Abb. 7 bis 9. Überführung des Personengleises nach Lehrte über die Hamburger Personengleise in km 14,5.

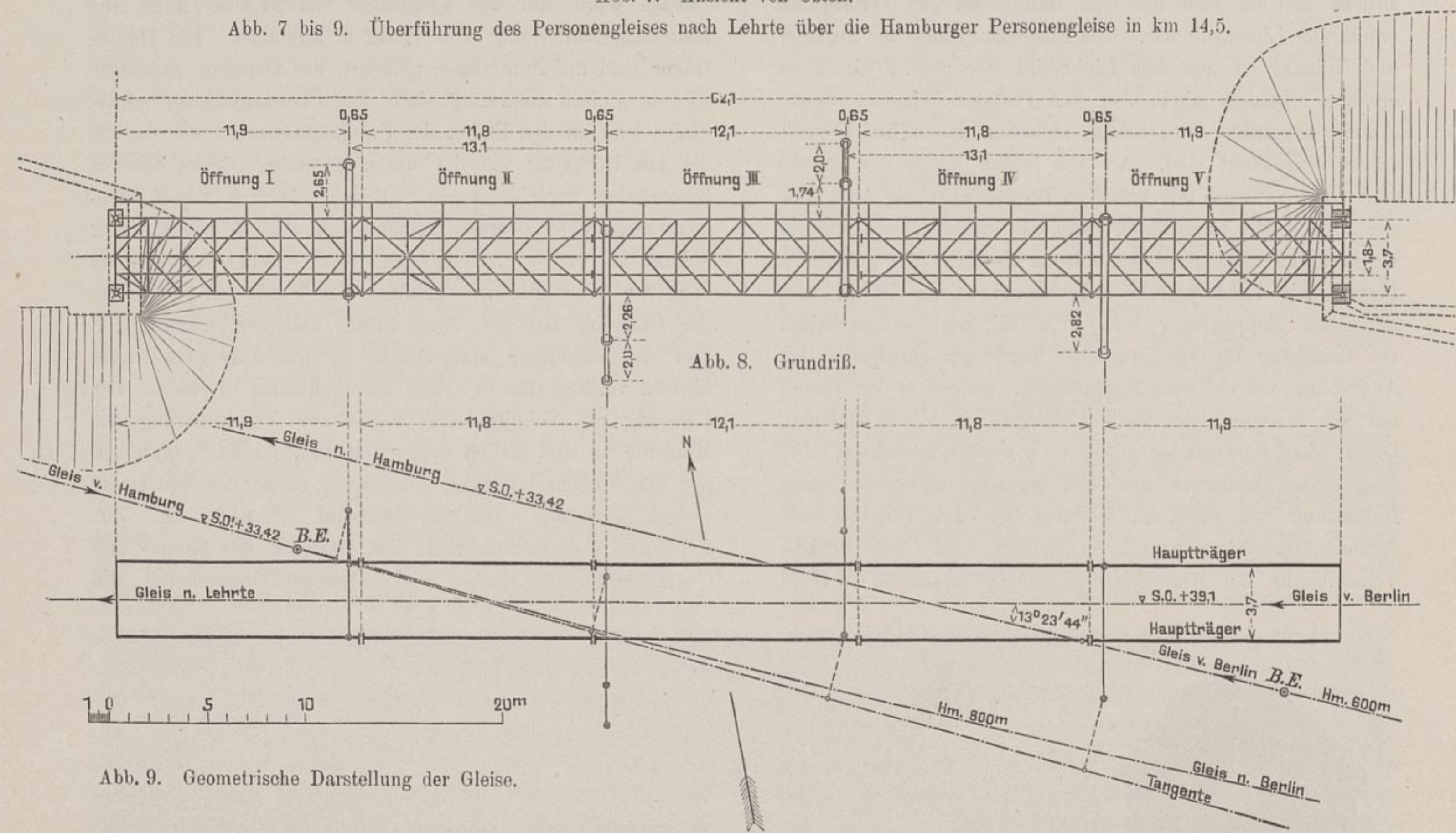


Abb. 8. Grundriß.

Abb. 9. Geometrische Darstellung der Gleise.

zusammen ein wagerechtes Trägersystem bilden. Die Widerlager und Grundmauern auch der Säulen sind aus Beton, zum Teil zwischen Spundwänden hergestellt.

3. Die Überführung des militärischen Anschlußgleises in km 11,25 liegt zum Teil in der Geraden, zum Teil im Bogen. Die Widerlager sind in Beton mit dem Mischungsverhältnis 1 Teil Zement und 7 Teile Kies hergestellt. Die Fahrbahntafel ist nach Abb. 10 Bl. 36 aus senkrecht zu den Widerlagern verlegten I-Trägern mit zwischengestampftem Beton gebildet. Die Einzelheiten sind aus den Abb. 11 bis 14 Bl. 36 zu ersehen.

4. Das Bauwerk zur Unterführung der Kleinbahn in km 13,94 ist mit Rücksicht auf ihren etwaigen späteren zweigleisigen Ausbau sogleich für zwei Gleisbreiten hergestellt worden. Es besteht aus Beton-Widerlagern mit eisernen Überbauten. Hier stand ebenso wie bei der Unterführung der Nauener Straße (unter den Gütergleisen) nicht die zur grundwasserfreien Durchführung des Kleinbahngleises erforderliche Durchfahrhöhe zur Verfügung. Das Gleis mußte daher nach den Staatsbahngleisen zu beiderseits mit 1 : 100 bezw. 1 : 50 fallend in einem wasserdichten Trog angeordnet werden.

5. Text-Abb. 8 und 9 zeigen den Grundriß und die geometrische Darstellung von dem Bauwerk zur Herstellung der schienenfreien Gabelung der Lehrter und Hamburger Bahn in km 14,5. Hier war das Personengleis nach Lehrte über die beiden Gleise der Hamburger Bahn zu führen. Das oben liegende geradlinige Gleis bildet mit dem Gleis nach Hamburg einen Winkel von nur 13° 23′ 44″. Das Bauwerk ähnelt dem

bei km 9,35, jedoch mußte es mit Rücksicht auf den sehr schiefen Schnittwinkel fünf Öffnungen mit vier zwischenstehenden Portalen erhalten, die zusammen eine Stützweite von 62,1 m haben. Die Portale sind zur seitlichen Steifigkeit, und um die Durchführung der unten liegenden Hamburger Gleise zu ermöglichen, abwechselnd nach der einen oder anderen Seite ausgebaut. In den Mittel- und beiden Endöffnungen sind die als Blechträger ausgebildeten Hauptträger 0,65 m ausgekragt und in der zweiten und vierten Öffnung Träger von 11,8 m Länge eingehängt. Am westlichen Widerlager ist ein festes, am östlichen ein bewegliches Auflager vorgesehen. Da die Portale Pendelportale sind, so ist das ganze System statisch bestimmt. Der Windverband ist auch hier K-förmig. Text-Abb. 7 läßt auch die Ausbildung der schrägen Flügelmauern erkennen.

(Schluß folgt.)

Zweigleisige Eisenbahnbrücke über den Rhein unterhalb Duisburg-Ruhrort

im Zuge der Linie Oberhausen-West — Hohenbudberg.

(Fortsetzung.)

Von Schaper in Duisburg-Ruhrort.

(Mit Abbildungen auf Blatt 37 bis 41 im Atlas.)

C. Die Vergebung der Arbeiten und Lieferungen und die Bauausführung.

1. Die Vergebung der Arbeiten und Lieferungen.

Bei der Vergebung der Arbeiten und Lieferungen wurde eine ziemlich weitgehende Trennung nach einzelnen Gruppen vorgenommen, um einer möglichst großen Zahl von Unternehmern die Beteiligung zu ermöglichen. Die Unterbauten wurden in zwei Lose geteilt. Los I umfaßte die drei Strompfeiler, die acht Flutpfeiler auf dem rechten Rheinufer und das hier gelegene Deichbauwerk, Los II die auf dem linken Rheinufer gelegenen Bauwerke. Nicht einbegriffen in das Los I war die Anfertigung und Aufstellung der Senkkasten für die drei Strompfeiler; sie bildeten einen Lieferungsgegenstand für sich. Die Bindestoffe für den Beton und Mörtel wurden von der Bauverwaltung unmittelbar von Fabriken solcher Bindemittel bezogen und den Unternehmern des Loses I und II zur Verfügung gestellt. Die eisernen Überbauten wurden ebenfalls in zwei Lose geteilt. Die 24 eingleisigen Flutüberbauten wurden in dem einen, die drei zweigleisigen Stromüberbauten in dem anderen Lose vereinigt. Die Lieferung und Verlegung der eichenen Brückenbalken und des eichenen Bohlenbelages auf den Flutüberbauten wurde getrennt von den betreffenden Arbeiten und Lieferungen für die Stromüberbauten vergeben. Für diese trat eine weitergehende Trennung nach Brückenbalken und Bohlenabdeckung ein, weil die ersteren in Eichenholz, letztere in australischem Jarrahholz geliefert werden sollten. Für die Bohlenabdeckung der Stromüberbauten wurde Jarrahholz deshalb gewählt, weil es außerordentlich schwer brennbar ist und daher nicht befürchtet zu werden braucht, daß es durch herunterfallende glühende Kohlenstücke aus dem Aschenkasten oder dem Schornsteine der Lokomotiven in Brand gesteckt wird.

Die einzelnen Arbeiten und Lieferungen, die Firmen, denen ihre Ausführung übertragen wurde, und sonstige wichtige Angaben sind in der nachstehenden Zusammenstellung (S. 239) aufgeführt. Der öffentlichen Ausschreibung der Arbeiten wurde weitester Spielraum gegeben; nur diejenigen Arbeiten und Lieferungen, deren Eigenart nur einen beschränkten Kreis von Unternehmern zuließ oder für deren freihändige Vergebung ganz besondere Gründe vorlagen, wurden von der öffentlichen Ausschreibung ausgeschlossen.

2. Die Bauausführung.

a) Der Bauplan. Wegen der Dringlichkeit der Aufgabe, für den starken Verkehr aus dem rheinisch-westfälischen Industriebezirk eine neue Abfuhrlinie zu schaffen, wurde eine nur zweijährige Bauzeit vorgesehen. Im ersten Baujahre sollten in der Hauptsache die Unterbauten, im zweiten Baujahre in der Hauptsache die Überbauten hergestellt werden. Die Zentralkommission für die Rheinschiffahrt verlangte, in der Zeit vom 15. Dezember bis 15. März den Rhein von Gerüsten freizuhalten, unter denen wohl solche zu verstehen waren, die bei Eisgang einen gefahrbringenden Aufstau erzeugen konnten oder bei deren Vernichtung durch Eisgang infolge des Einsturzes von Bauteilen ein gefahrbringender Aufstau oder eine teilweise Sperrung des Stromes herbeigeführt werden konnte. Weiter sollten während des Baues des großen Stromüberbaues in dieser Öffnung zwei 80 m weite und 9,10 m über dem höchsten schiffbaren Wasserstande hohe Schiffahrtsdurchlässe freigehalten werden und nach Möglichkeit in der Zeit, in der der große Stromüberbau im Bau war, die rechte Stromöffnung von Gerüsten freigehalten werden. Im übrigen durfte in dieser Öffnung ein festes Gerüst ohne Schiffahrtsdurchlässe gerammt werden. Hiernach wurde der Bauplan aufgestellt, der deshalb hier nicht wiedergegeben werden soll, weil er im großen und ganzen eingehalten worden ist und daher in der nachstehenden Baubeschreibung klar erscheint.

b) Die Einrichtung der Bauplätze. Die Bauplätze konnten den Unternehmern auf dem Acker- und Weidegelände der Baustelle in genügender Größe überwiesen werden. Die Ausdehnung der Bauplätze, die Lage der einzelnen Gebäude, Schuppen und Entladestege und die Anordnung der Baugleise sind aus den Text-Abb. 35 bis 37 zu ersehen. Die Firma Grün und Bilfinger richtete sich im Schwerpunkt ihres Unternehmens auf dem rechten Ufer ein. Alle Anlagen, die keine besondere Eigentumsbezeichnung auf dem Lageplan der Text-Abb. 37 tragen, gehörten dieser Firma. Sie bestanden aus Bauhütte und Kantine, Küche für italienische Arbeiter, Ölkeller, Lokomobilschuppen, Werkstattschiff, Zement-

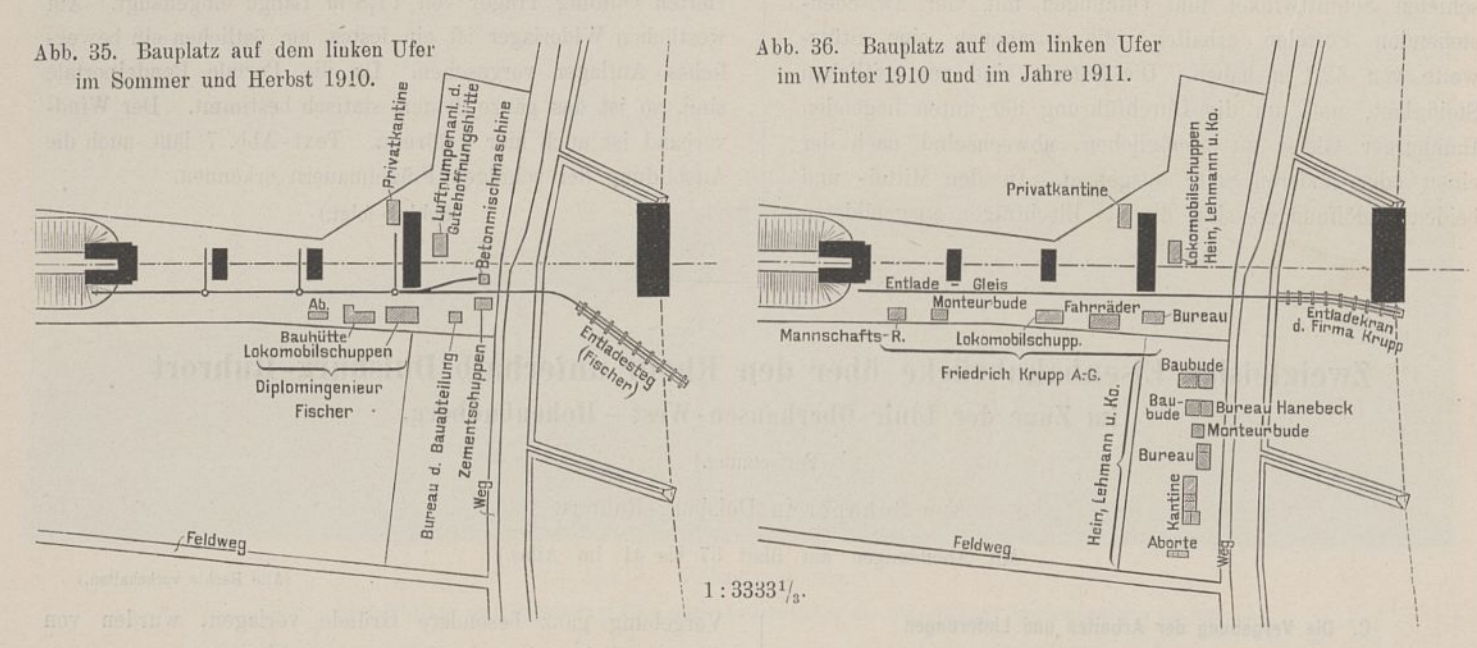


Abb. 35. Bauplatz auf dem linken Ufer im Sommer und Herbst 1910.

Abb. 36. Bauplatz auf dem linken Ufer im Winter 1910 und im Jahre 1911.

schiff, Entladesteg und den Baugleisen. In dem Lokomobilschuppen wurde von einer 35pferdigen Lokomobile (Bauart Lanz) und einem Dynamo die elektrische Kraft zur Bedienung der Betonmischmachine, die neben dem Entladesteg stand und den Beton für den rechten Strompfeiler und alle Bauwerke auf dem rechten Ufer lieferte, ferner zur Bedienung des zum Bau der Vorlandpfeiler verwendeten Kranes und für die Bauplatzbeleuchtung erzeugt. Die Kraftanlage zur Erzeugung der Druckluft für die Senkkasten, der elektrischen Kraft der Ablaßmaschinen und der Aufzugsmotoren und für die Beleuchtung der Senkkasten und der Pfeiler befand sich auf zwei gekuppelten Schiffen. Von dieser Anlage wird später noch näher die Rede sein (S. 254). In der Bauhütte waren die Bureaus der Firma und der Bauverwaltung, eine Wohnung für den bauleitenden Ingenieur der Firma, Schlafräume für Schachtmeister und Arbeiter, die

Zusammenstellung über die Vergebung von Arbeiten und Lieferungen.

Arbeiten und Lieferungen	Ausführende Firma	Art der Vergebung	Tag der Zuschlagserteilung	Beginn der Arbeiten und Lieferungen auf der Baustelle
Lieferung und Aufstellung der eisernen Senkkasten	Gutehoffnungshütte	In engerer Bewerbung	16. Dezember 1909	23. April 1910
Herstellung der Unterbauten auf dem linken Rheinufer einschl. Baustofflieferung	Dipl.-Ing. B. Fischer in Gustavsburg bei Mainz	In öffentlicher Ausschreibung	17. Januar 1910	1. April 1910
Herstellung der drei Strompfeiler, der acht Flutpfeiler und des Deichbauwerkes auf dem rechten Ufer und der Schutzbauten gegen Unterspülung der Pfeiler (einschließlich Baustofflieferung)	Grün u. Bilfinger, A.-G. in Mannheim	In öffentlicher Ausschreibung	19. Februar 1910	1. April 1910
Lieferung und Aufstellung der 24 eingleisigen, eisernen Flutüberbauten	Friedrich Krupp, A.-G., Friedrich - Alfred - Hütte in Rheinhausen-Friemersheim	In öffentlicher Ausschreibung	8. Februar 1910	August 1910
Lieferung und Aufstellung der drei Stromüberbauten	Hein, Lehmann u. Ko., A.-G. in Düsseldorf-Oberbilk	In öffentlicher Ausschreibung	16. Februar 1910	15. August 1910
Lieferung von Portlandzement für die Unterbauten	Rheinisch-Westfäl. Zement-Syndikat in Bochum	Freihändige Übertragung	7. Februar 1910	1. Mai 1910
Lieferung von Portlandzement für die stark beanspruchten Stellen der Unterbauten	Dyckerhoff u. Söhne in Amöneburg	Freihändige Übertragung	5. Juni 1910	11. Juni 1910
Lieferung von Traß	Zervas Söhne in Köln und Gerhardt Herfeldt in Andernach	In engerer Bewerbung	22. Februar 1910	1. Mai 1910
Lieferung und Verlegung der eichenen Brückenbalken und eichenen Bohlen für die Flutüberbauten	Erlemann u. Ko. in Koblenz-Lützel	In öffentlicher Ausschreibung	19. November 1910	9. April 1911
Lieferung und Verlegung der eichenen Brückenbalken auf den Stromüberbauten	Gebrüder Himmelsbach in Freiburg i. Baden	In öffentlicher Ausschreibung	13. Mai 1911	7. August 1911
Lieferung und Verlegung der Bohlen aus australischem Jarrahholz auf den Stromüberbauten	Firma Walter Bach in Düsseldorf	In engerer Bewerbung	21. November 1910	18. September 1911
Abgrabung auf dem rechten Rheinufer	Grün u. Bilfinger, A.-G. in Mannheim	Freihändige Übertragung im Anschluß an die Arbeiten für die Unterbauten	14. Januar 1911	1. April 1911

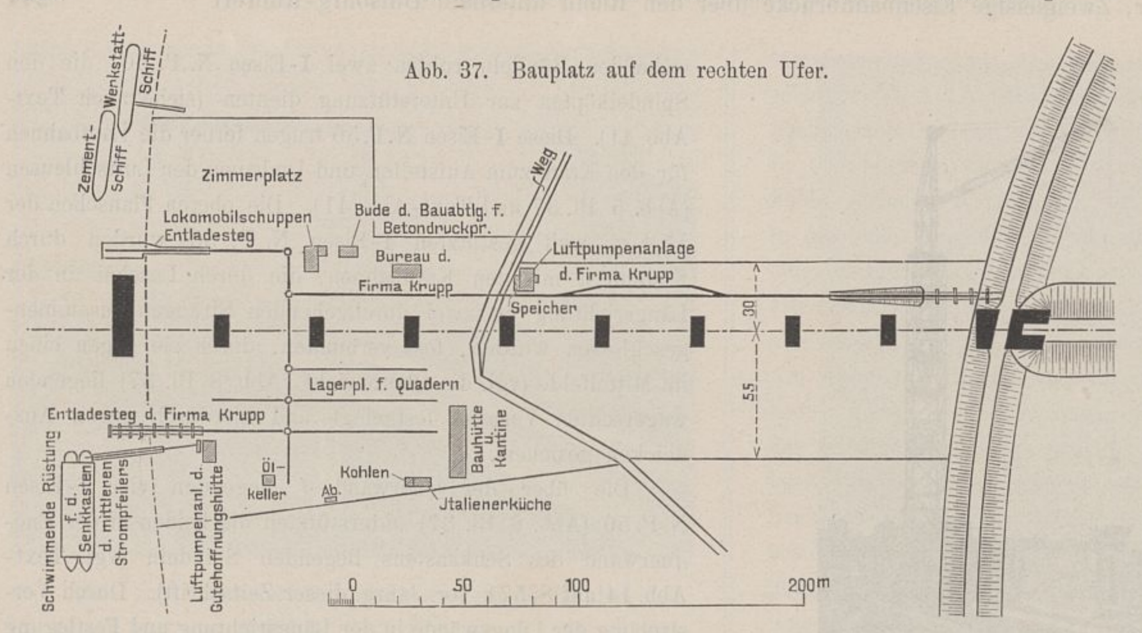


Abb. 37. Bauplatz auf dem rechten Ufer.

Küche und der Speiseraum für die Arbeiter untergebracht. — In der Bude der Bauverwaltung befand sich eine von dieser beschaffte 300-t-Presse Martensscher Bauart zum Zerdrücken von Betonprobekörpern, durch die die Güte des Betons dauernd überwacht wurde.

Die Gutehoffnungshütte errichtete ihre Luftpumpenanlage zur Erzeugung der Druckluft für die Nietarbeit der Senkkasten des rechten und mittleren Strompfeilers auf dem rechten Ufer (Text-Abb. 37), später verlegte sie diese für den Senkkasten des linken Strompfeilers auf das linke Ufer (vgl. Text-Abb. 35). Die Kraftanlage, die Bauhütte und sonstige Baubuden der Firma: Dipl.-Ing. Fischer befanden sich auf dem linken Ufer (Text-Abb. 35). Solange die Firma Krupp mit der Aufstellung der Überbauten auf dem rechten Ufer beschäftigt war, hatte sie ihre Kraftanlage und ihre Baubuden auch auf dem rechten Ufer (Text-Abb. 37), mit der Vollendung dieser Arbeiten im Sommer 1911 verlegte die Firma diese Anlagen auf das linke Ufer (Text-Abb. 36). Die Hauptkraftanlage der Firma Hein, Lehmann und Ko., in der die elektrische Kraft für die Bedienung der Krane und der Bohrmaschinen und die Druckluft für die Bohrmaschinen und Niethämmer erzeugt wurde, befand sich auf einem Schiff. Zur Beschleunigung der Bohr- und Nietarbeiten des großen Stromüberbaues wurde im Herbst 1911 auf dem linken Ufer noch eine Nebenkraftanlage errichtet (Text-Abb. 36). Hier befanden sich auch die Kantine, die Bauhütte und sonstige Baubuden der Firma.

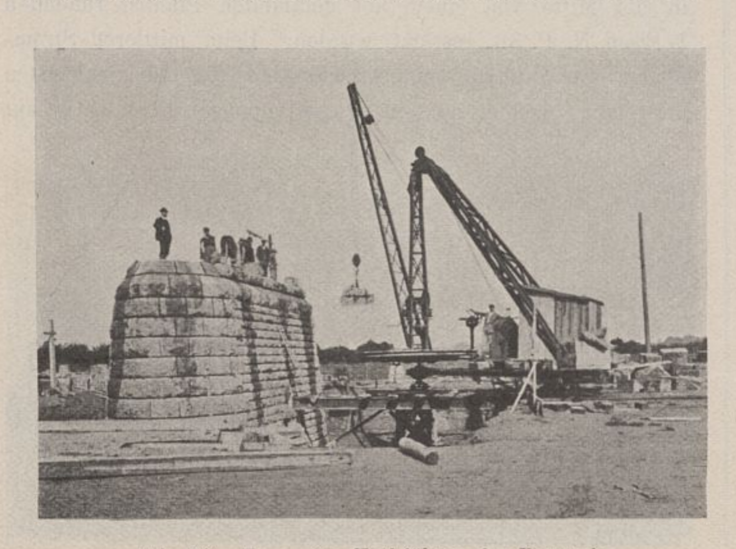


Abb. 38. Kran zum Hochführen der Bauwerke auf dem rechten Ufer.

c) Die Witterungs- und Wasserverhältnisse in den Baujahren 1910 und 1911. Die Jahre 1910 und 1911 waren in bezug auf Witterung und die Wasserverhältnisse zwei ganz außergewöhnliche Jahre. Das Jahr 1910 war außerordentlich reich an heftigen Niederschlägen und brachte nicht weniger als sieben schwere und langandauernde Hochwasserwellen und ein Sommerhochwasser, wie es seit langen Jahrzehnten nicht beobachtet wurde. Es herrschte mit Ausnahme weniger Wochen im Oktober und Anfang November eigentlich stets Hochwasser, unter dem die Gründungsarbeiten natürlich schwer zu leiden hatten. Das Jahr 1911 war dagegen außergewöhnlich trocken. Der Wasserstand war vom Juni an bis Ende Dezember so tief, wie seit langen Jahren nicht. Dieser tiefe Wasserstand erschwerte das Einfahren der Rüstträger, auf denen der große Stromüberbau zusammengebaut werden mußte, nicht unerheblich. Diese für die Bauausführung so ungünstigen Wasserstände der beiden Jahre waren zwar recht unbequem, sie hatten aber den Vorteil im Gefolge, daß bei der Bauausführung reiche Erfahrungen gesammelt wurden, die späteren Bauausführungen zugute kommen können. Von diesen Erfahrungen wird bei der Beschreibung der einzelnen Bauausführungen die Rede sein.

d) Die Herstellung der Unterbauten auf dem rechten Rheinufer. Wegen des hohen Wasserstandes mußten die Grundmauern sämtlicher Vorlandunterbauten zwischen Spundwänden ausgeführt werden. Bei dem dem Strome zunächst stehenden Pfeiler war der Kies so fest gelagert, daß hölzerne Spundbohlen nicht niedergetrieben werden konnten, sondern eiserne Spundwände verwendet werden mußten. Bei allen anderen Pfeilern kam man mit hölzernen Spundwänden aus. Der Beton der Grundmauern wurde in den Baugruben, deren Spundwände dicht waren, unter Wasserhaltung, sonst unter Wasser mittels Trichters eingebracht. Er wurde in der neben dem Entladesteg stehenden Mischmaschine hergestellt und in Muldenkippern auf den Baugleisen zur Verwendungsstelle gefahren.

Das Hochführen der Vorlandbauwerke geschah mittels eines sogenannten Derrik-Kranes, der elektrisch angetrieben wurde (Text-Abb. 38). Begonnen wurde mit dem Bau der Vorlandbauwerke auf dem rechten Ufer Anfang April 1910. Ende November 1910 waren sämtliche Pfeiler vollendet. Die Fertigstellung des Deichbauwerkes zog sich bis Ende März 1911 hin. Sämtliche Baustoffe kamen auf dem Wasserwege zur Baustelle. Die Basaltlavaquadern bezog die Firma Grün und Bilfinger aus den Eifelbrüchen von Xaver Michels in Andernach.

e) Die Herstellung der Unterbauten auf dem linken Ufer. Die Grundmauern wurden des hohen Wasser-

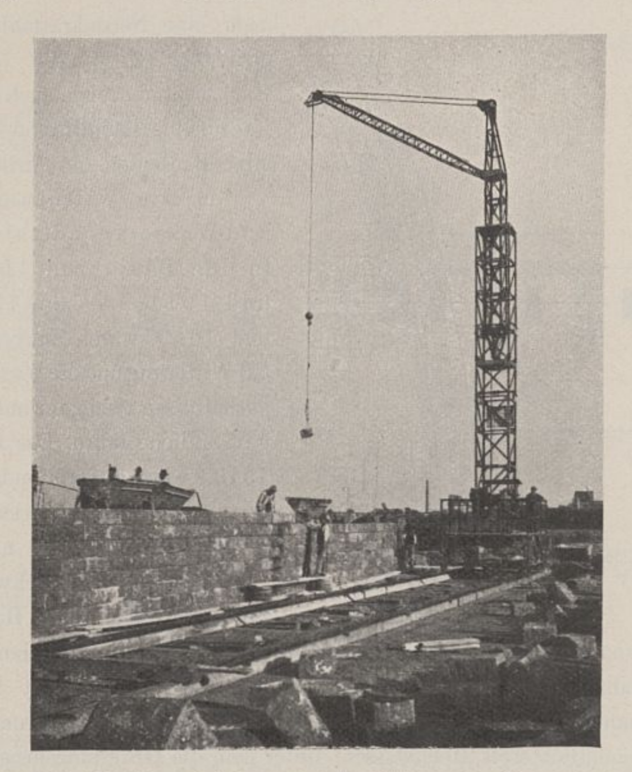


Abb. 39. Turmdrehkran zum Hochführen der Bauwerke auf dem linken Ufer.

standes wegen auch hier mit Ausnahme der Grundmauern eines Pfeilers, dessen Baugrube nur verschalt wurde, zwischen hölzernen Spundwänden hergestellt. Der Kies wurde von der Entladestelle am Rhein in Muldenkippern unmittelbar der Mischmaschine, die neben dem Zementschuppen stand, zugeführt. Ihre tägliche Leistung betrug in elfstündiger Arbeitszeit 130 bis 140 cbm. Sie wurde ebenso wie die beiden zum Hochmauern der Bauwerke verwendeten Turmdrehkrane (Text-Abb. 39) durch elektrische Kraft betrieben, die von einer 45/60 pferdigen Heißdampflokomobile und einem Gleichstromdynamo erzeugt wurde. Die Turmdrehkrane (Bauart Riche-Kassel) haben sich als außerordentlich brauchbar und leistungsfähig erwiesen. Der Ausleger ist verstellbar angeordnet. Die Tragfähigkeit richtet sich nach der Ausladung des Auslegers. Bei 5 m Ausladung beträgt die Tragfähigkeit 3 t, bei 7,5 m Ausladung 2 t und bei 9 m Ausladung 1,5 t. Die Basaltlavaquadern wurden von den Drehkranen mittels Wolf und Klaue ins volle Mörtelbett versetzt. Die Stoßfugen der hohen Quadern wurden ausgegossen, die der niedrigen Quadern mit Mörtel ausgestopft. Der erste Spatenstich wurde am 1. April 1910 getan. Ende November desselben Jahres waren alle Unterbauten auf dem linken Ufer vollendet. Die Basaltlavaquadern dieser Bauwerke stammen aus den Eifelbrüchen der Firma J. Ohlig in Andernach.

f) Der Bau der Strompfeiler. Die drei Strompfeiler wurden entwurfsgemäß mittels des Druckluftverfahrens gegründet. Die Gerüste zum Aufhängen und Ablassen der eisernen Senkkasten waren bei allen drei Pfeilern grundsätzlich gleich, nur in den Abmessungen verschieden. In den Abb. 5 bis 9 Bl. 37 ist das Senkkastengerüst des mittleren Strompfeilers veranschaulicht. Dem Abstand der Querträger des Senkkastens entsprechend standen die Tragpfahlbündel der Längswände in einer Entfernung von 3,4 m. Auf je zwei sich gegenüberliegenden, aus drei Pfählen bestehenden Bündeln ruhten zwei I-Eisen N. P. 50, die den Spindelköpfen zur Unterstützung dienten (siehe auch Text-Abb. 41). Diese I-Eisen N. P. 50 trugen ferner die Laufbahnen für den Kran zum Aufstellen und Umbauen der Luftschleusen (Abb. 5 Bl. 37 und Text-Abb. 41). Die oberen Flanschen der 15,4 m weit gestützten I-Eisen N. P. 50 wurden durch Klammern mit den Kranbahnen, die durch Laschen in der Längsrichtung zu zwei durchgehenden Strängen zusammengeschlossen wurden, fest verbunden, durch sie gegen einen im Mittelfelde (vgl. die Oberansicht, Abb. 8 Bl. 37) liegenden wagerechten Verband festgelegt und hierdurch gegen Ausknicken gesichert.

Die über der Querwand *4* liegenden vier I-Eisen N. P. 50 (Abb. 6 Bl. 37) unterstützten die beiden in der Endquerwand des Senkkastens liegenden Spindeln (vgl. Text-Abb. 14 auf S. 571 vor. Jahrg. dieser Zeitschrift). Durch Verstrebung der Längswände in der Längsrichtung und Festlegung der oberen und unteren Längszangen gegen zwei Böcke, die an den Enden der Wände standen (vgl. den Längenschnitt, Abb. 6 Bl. 37), und durch Verstrebung jeder inneren und äußeren Längswand in der Querrichtung wurden feste Punkte geschaffen, die die Knicklänge der Tragpfähle in angemessenen Grenzen hielten. Die Haupttragpfähle wurden 5 m, die anderen 4 m in die Flußsohle eingerammt. Im ungünstigsten Falle hatte jedes Tragpfahlbündel eine Spindelbelastung von 60 t aufzunehmen, also jeder Pfahl 20 t. Hierbei zeigte jeder Pfahl noch eine 6,7 fache Sicherheit gegen Knicken. Die unteren Arbeitsbühnen, von denen aus die unteren Teile des Pfeilers mit Baustoffen versehen werden sollten, wurden 1,10 m über Mittelwasser angeordnet. Man nahm auf Grund der beim Bau anderer Rheinbrücken gewonnenen Erfahrungen an, daß die Arbeitsbühnen bei dieser Höhenlage mit Ausnahme weniger Tage wasserfrei sein würden. Leider waren aber die Wasserverhältnisse des Sommers 1910 derartig ungünstig, daß die Arbeitsbühnen sehr häufig und lange unter Wasser waren. Die oberen Arbeitsbühnen lagen 6 m über den unteren Bühnen. In der Höhe der unteren Arbeitsbühnen lagen beim linken und rechten Strompfeiler auch die Arbeitsböden zum Aufstellen der eisernen Senkkasten. Diese Arbeitsböden wurden von Balken getragen, die seitlich auf den Längszangen der unteren Arbeitsbühnen auflagen und in der Mitte von einem auf gerammten Pfählen ruhenden I-Eisen N. P. 36 gestützt wurden. Beim mittleren Strompfeiler war deshalb kein Arbeitsboden für den Senkkasten notwendig, weil er auf einer schwimmenden Rüstung gebaut

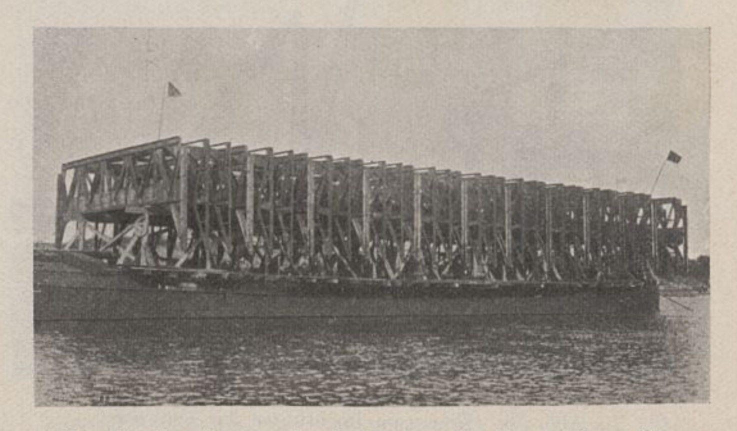


Abb. 40. Das Gerippe des Senkkastens für den mittleren Strompfeiler auf der Baustelle.

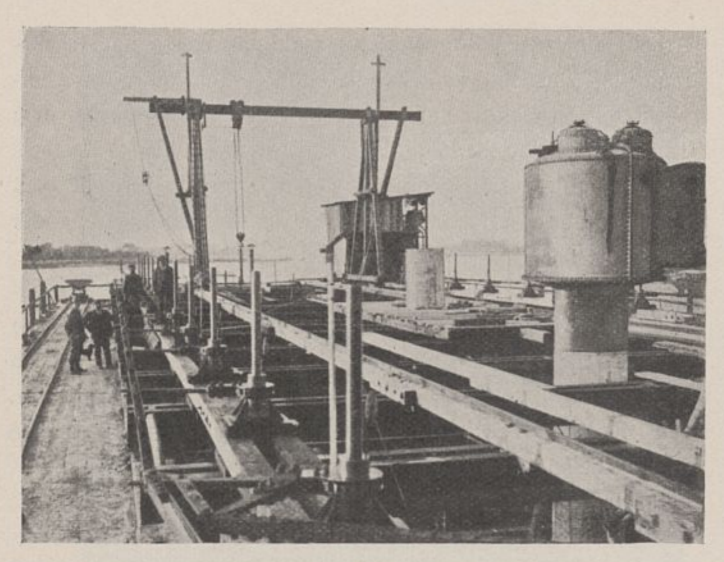


Abb. 41. Oberansicht des Senkkastengerippes für den mittleren Strompfeiler.

und eingefahren wurde. Der Senkkasten des rechten Strompfeilers konnte planmäßig auf dem Arbeitsboden zusammengebaut werden. Die Eisenteile kamen auf dem Wasserwege aus dem unterhalb der Baustelle gelegenen Hafen Walsum der Gutehoffnungshütte zur Baustelle. Die Querträger, an denen nur die beiderseitigen Schneiden fehlten (Abb. 4 Bl. 39), wurden durch Laschen und Bolzen vorübergehend an den I-Träger N. P. 50 angehängt, die später die Spindeln zu tragen hatten (Abb. 3 Bl. 39). Der Senkkasten für den mittleren Strompfeiler wurde, um die Zeit für den Zusammenbau auf dem Arbeitsboden des Senkkastengerüstes zu sparen, auf schwimmender Rüstung aufgestellt und dann eingefahren. In der Nähe des Hafens Walsum wurde das Gerippe des Senkkastens auf zwei zusammengekuppelten Schiffen zu-

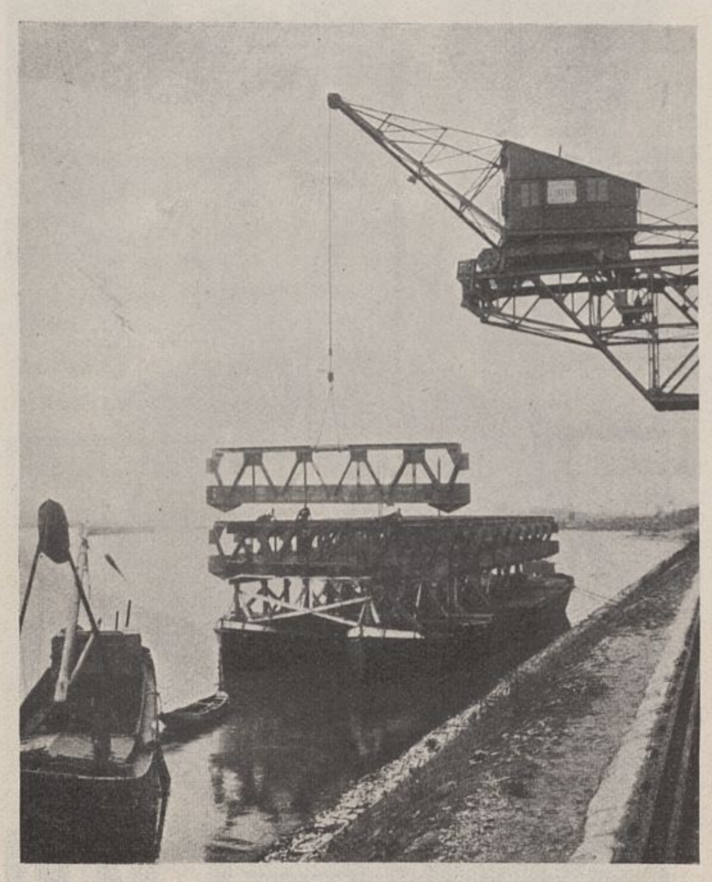


Abb. 42. Zusammenbau des Senkkastengerippes für den mittleren Strompfeiler.

sammengebaut (Text-Abb. 42) und dann zur Baustelle geschleppt (Text-Abb. 40). Der Einbau der Blechhaut und die Nietarbeiten wurden dann auf der Baustelle vorgenommen. In der hinteren Querwand wurde die Blechhaut in einem Felde vorläufig fortgelassen, um hier die Schiffe mit ihren in die Höhe ragenden Spitzen unter dem eingefahrenen und eingehängten Senkkasten hervorziehen zu können (Abb. 2 Bl. 39). Der Senkkasten war Anfang Juli fertig vernietet, konnte aber wegen des hohen Wasserstandes nicht eingefahren werden. Am Ende des Monats war der Wasserstand immer noch zu hoch. Längeres Warten hätte die rechtzeitige Fertigstellung des Pfeilers in Frage gestellt; man entschloß sich daher kurz, den bereits vollständig fertiggestellten oberen Teil des Senkkastengerüstes abzubrechen und das Gerüst um 1,30 m zu erhöhen. Dies geschah durch Aufklotzen jedes zweiten Tragpfahlbündels mittels drei 40 cm starker Eichenbalken und zwei 5 cm starker Bohlenlagen (Abb. 5 Bl. 39). Zwischen je zwei Balken lagen die Bohlen und je zwei in die Balken eingelassene Zangen, die bis zur äußeren Pfahlwand verlängert und an einem senkrechten, mit dem betreffenden Pfahl der äußeren Wand verbundenen Balken angeschlossen waren. Am 30. Juli 1910 wurde der Senkkasten dann eingefahren. Man ließ ihn zunächst, von einem starken Dampfer geführt, stromabwärts sacken und zog ihn dann stromaufwärts. Kurz vor dem Gerüst ließ der Hauptschleppdampfer die Trosse los; die beiden an den Seiten der Tragschiffe liegenden Bugsierdampfer hielten den Senkkasten fest. Nachdem die Trosse durch das Gerüst durchgezogen und wieder an dem Hauptschleppdampfer befestigt war, wurde der Senkkasten in das Gerüst eingefahren und in die Spindeln gehängt. Bei dem geringen Spielraum zwischen Gerüst und Senkkasten mußte das Einfahren mit größter Vorsicht vorgenommen werden. Es nahm im ganzen nur etwas über eine Stunde in Anspruch. Nachdem die Schiffe unter dem Senkkasten hervorgeholt waren, wurde dieser so weit gesenkt, daß die Träger auf die nicht erhöhten Pfahlbündel wieder aufgelegt werden konnten (Abb. 5 Bl. 39) und der Senkkasten an diesen Punkten in die Spindeln gehängt werden konnte. Die Spindeln an den erhöhten Punkten wurden dann entfernt, diese Punkte umgebaut und schließlich der Senkkasten auch hier endgültig in die Spindeln gehängt. — Der Senkkasten des linken Strompfeilers sollte ebenso wie der des rechten Strompfeilers von einem festen Arbeitsboden aus zusammengebaut werden. Der hohe Wasserstand gestattete aber nicht die rechtzeitige Fertigstellung dieses Arbeitsbodens. Das Gerippe des Senkkastens mußte daher zunächst von Kähnen aus unter Anhängung der Querträger an die I-Eisen N. P. 50, die später die Spindeln zu tragen hatten, eingebaut werden (Abb. 6 Bl. 39). Erst später konnte der Arbeitsboden bei tieferem Wasserstande hergestellt und der Senkkasten von diesem aus fertig zusammengebaut und vernietet werden.

Um die äußere Blechhaut wasserdicht und die Blechhaut des Arbeitsraumes luftdicht zu machen, wurden zwischen die Ränder der Blechhauttafeln und ihre Auflagestellen in Mennige getränkte Leinwandstreifen gelegt und außerdem alle Nähte mit Schwarzkitt verschmiert. Alle Stellen des Senkkastens, die mit Beton in Berührung kamen, wurden durch Salzsäure von Öl sauber gereinigt und mit Zementmilch gestrichen, um ein gutes Anhaften des Betons zu erzielen.

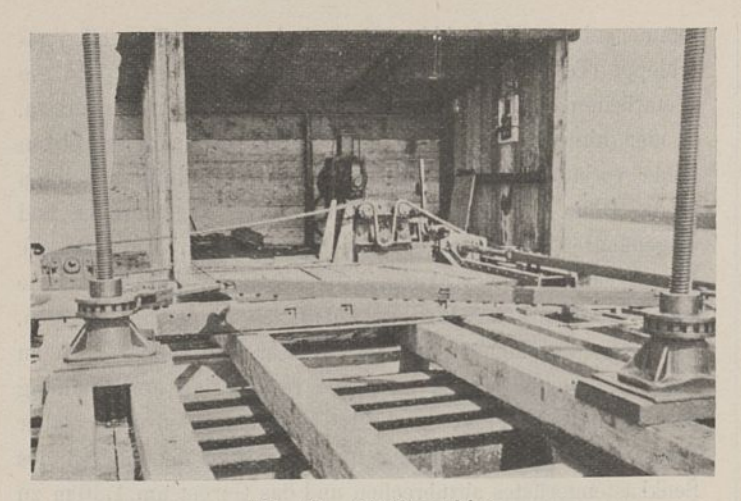


Abb. 43. Ablaßmaschine.

Die Aufhängung der Senkkasten an den Ablaßspindeln ist aus Text-Abb. 41 und Abb. 5 auf Bl. 39 deutlich zu ersehen. Damit die Querträger, an deren Enden die Spindeln angriffen, stets gleiche Last bekamen, mußten alle Punkte einer Längsseite gleichmäßig abgesenkt werden. Zu diesem Zwecke wurden beim Senkkasten des rechten Strompfeilers sämtliche Drehhebel, bei den Senkkasten der beiden anderen Pfeiler die Drehhebel jeder Längsseite und die Nachbarhebel der Querseiten durch ein Gestänge zusammengekuppelt (Text-Abb. 41) und von einer elektrisch bedienten Ablaßmaschine aus angetrieben (Text-Abb. 43). Die stündliche Leistung beim Absenken durch das Wasser betrug im Durchschnitt 20 cm. Die Verlängerung der Spindeln wurde in bekannter Weise durch vorübergehende Aufhängung des unter der Spindel befindlichen Gliedes an zwei Nebenspindeln (siehe die Spindeln an den tiefliegenden Trägern in der Abb. 5 Bl. 39) und Einschaltung weiterer Glieder bewirkt. Zur Sicherung gegen Verschieben durch die Strömung des Wassers wurden die Senkkasten durch Drahtseile gegen den Strom an dem Senkkastengerüst verankert. Beim mittleren Strompfeiler, bei dem die Strömung besonders stark ist, wurde außerdem eine Pfahlwand in /\-Form vor das Gerüst gerammt. Gleichzeitig mit dem Ablassen begann auch die Ausbetonierung der Senkkastenschneide und des Bodens über dem Arbeitsraum und der Aufbau der Luftschleusen (Text-Abb. 41), von denen für jeden der drei Senkkasten zwei vorgesehen wurden. Sie dienten beide zugleich zur Förderung der Personen, des Bodens und des Betons.

Sobald die Spindelbelastung 30 t erreichte, wurde zur Entlastung der Spindeln bei weiterem Einbringen von Beton Luft in den Arbeitsraum geblasen. Die Spindeln besaßen allerdings 60 t Tragfähigkeit; man nutzte diese aber nicht aus, um die Spindeln leicht drehen zu können. Solange der Senkkasten im Wasser hängt, kann, falls nicht besondere Vorkehrungen getroffen werden, das Wasser leicht bis zur Schneide aus dem Arbeitsraum verdrängt werden, und die Spindeln können hierdurch so weit entlastet werden, daß der Senkkasten schwimmt und aus seiner Lage verschoben wird. Auch kann Luft unter der Schneide entweichen, was mit großen Verlusten an Druckluft verbunden ist. Zur Verhütung dieser Übelstände wurde mittels einer Stopfbüchse ein oben und unten offenes, sogenanntes „Tauchrohr“ durch die Decke des Senkkastens gesteckt, das je nach der beabsichtigten Entlastung der Spindeln weniger oder mehr tief in den Arbeitsraum eingeführt wurde. Sobald das Wasser im Arbeitsraum bis zur Unterkante dieses Rohres verdrängt war, entwich die Druckluft unter Mitnahme von Wasser aus dem Tauchrohr. Man hatte also ein äußerlich sichtbares Zeichen, ob die beabsichtigte Entlastung der Spindeln erreicht war, und verhütete mit Sicherheit eine zu große Entlastung der Spindeln.

Bei den beiden seitlichen Strompfeilern war die Wassertiefe so gering, daß der Senkkasten überall auf der Flußsohle zum Aufsitzen kam und aus den Spindeln gehängt werden konnte, bevor er mit seiner Oberkante unter Wasser kam. Der obere Senkkastenraum konnte also in diesem Zustande voll ausbetoniert und der Pfeiler auf dieser Grundlage hochgeführt werden.

Anders lagen die Verhältnisse beim mittleren Strompfeiler. Hier mußte der 5 m hohe Senkkasten 7,8 m tief durch das Wasser gesenkt werden. Die zulässige Spindelbelastung gestattete selbstverständlich nicht, den oberen Senkkasten voll auszubetonieren und hierauf den Pfeiler voll hochzuführen. Man konnte vielmehr nur die Senkkastenschneide und einen 30 cm hohen Raum über der Decke ausbetonieren. Über dem Senkkasten wurde an den vier Seiten eine 1,6 m breite und 3,3 m hohe Mauer (Text-Abb. 45) aus Bruchsteinmauerwerk in fettem Zementmörtel hochgeführt. Sie ruhte auf einem von Querträger zu Querträger gespannten, eisenbewehrten Betonsockel, unter dem also der Raum ebenfalls freigelassen wurde (Text-Abb. 46). Zur Erhöhung ihrer Wasserdichtigkeit wurde die Bruchsteinmauer außen mit Zementmörtel 1 : 2 geputzt. Es gelang, die Senkkastenschneide auf diese Weise 0,70 m unter die Flußsohle ohne merklichen

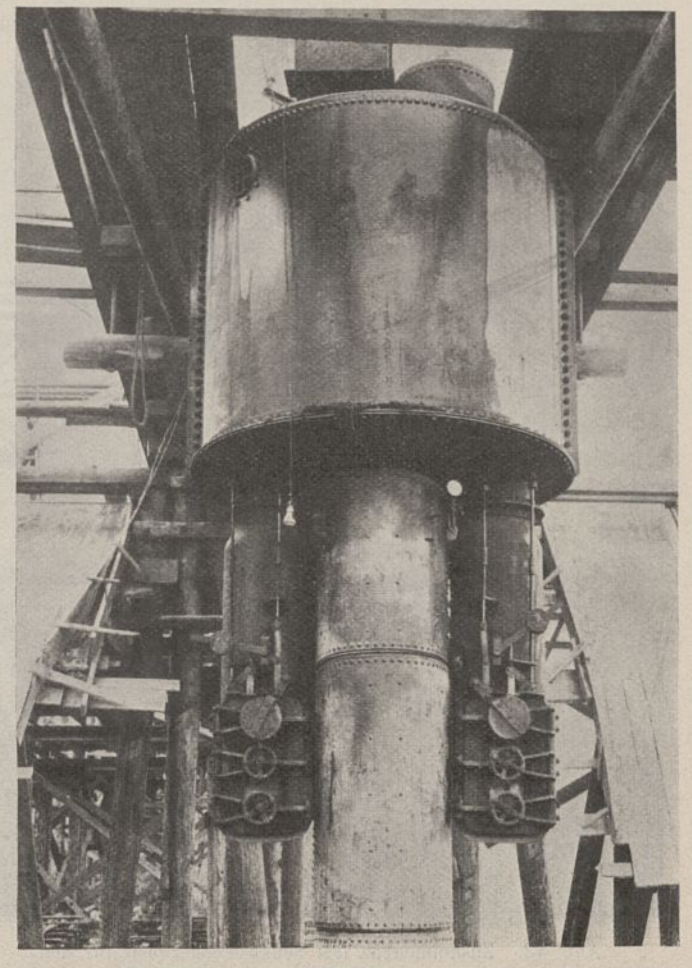


Abb. 44. Schleuse mit Hosen für die Bodenförderung.

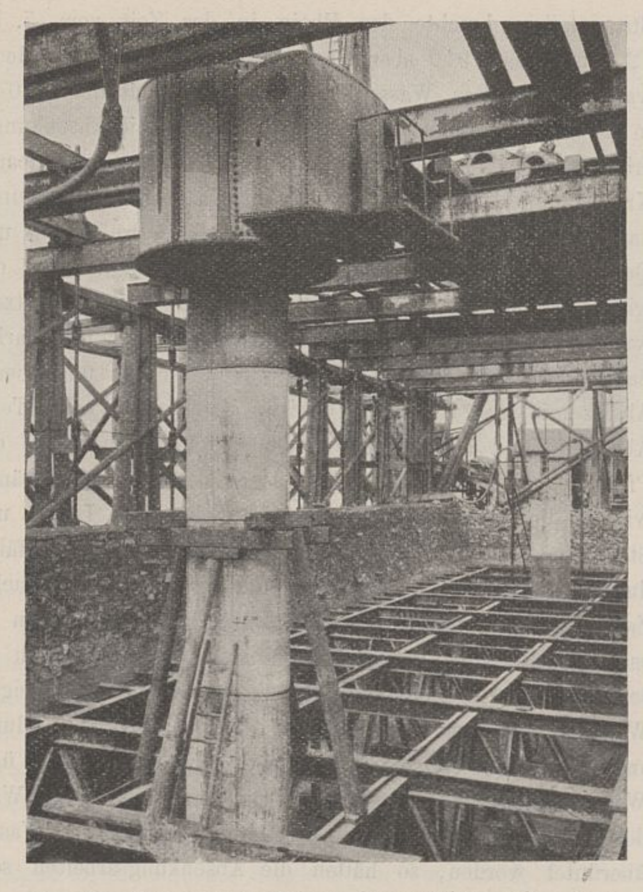


Abb. 45. Zustand des mittleren Strompfeilers während des Absenkens durch das Wasser.

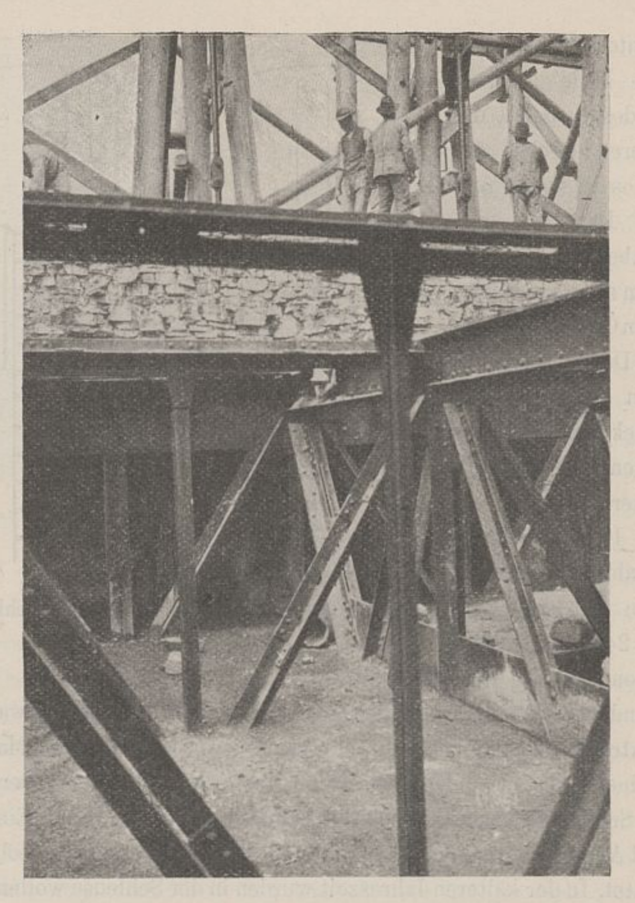


Abb. 46. Zustand des mittleren Strompfeilers während des Absenkens durch das Wasser.

Wassereintritt in den Hohlraum abzusenken, und es wäre auch gelungen, den Beton ohne Wasserhaltung im Trockenen einzubringen, wenn die Vorarbeiter nicht gegen das Verbot der Bauleitung und des Ingenieurs der ausführenden Firma beim Aushängen des Senkkastens aus den Spindeln die untersten Glieder der Gestänge aus den in den Querträgern des Senkkastens gelagerten Muttern geschraubt hätten und wenn nicht beim Ablassen des Senkkastens, wohl infolge von Formänderungen im Senkkasten, Risse in den Putz der Mauern entstanden wären. Es war beabsichtigt, die Gestänge der Spindeln oben zu lösen und die unteren Teile erst nach dem Ausbetonieren des oberen Senkkastenraumes aus den Muttern zu schrauben. Infolge des Lösens der unteren Glieder, deren Durchtrittstellen durch den oberen wagerechten Randträger des Senkkastens (vgl. Abb. 1 und 3 auf Blatt 68 des vorigen Jahrganges dieser Zeitschrift) vorher durch Putzwolle wasserdicht abgeschlossen gewesen waren, drang das Wasser ein und bahnte sich durch den Beton, mit dem die Endpunkte der Querträger in ganzer Höhe umgeben waren, einen Weg in den Hohlraum. Die Wassermenge, die durch die Risse im Putz der Mauern drang, war nur gering. Da das Betonieren mittels Trichters unter Wasser wegen des Senkkastengerippes nur mit großem Zeitverlust und nur unvollkommen auszuführen war, wurde unter Wasserhaltung betoniert. — Ohne Frage wäre der Wassereinbruch vermieden worden, wenn die unteren Glieder in den Muttern geblieben wären (an Stelle der Putzwolle hätte sich zur Dichtung der Durchdringungsstellen dieser Glieder durch den wagerechten Randträger und zur Ausfüllung der dreieckigen Räume, in denen die Muttern lagen, Asphaltsandbeton wohl noch besser geeignet) und auf den Putz der Bruchsteinmauern Asphaltleinen geklebt worden wäre.

Sobald die Senkkasten auf der Flußsohle, die vorher durch Baggerung so gut wie möglich geebnet war, aufsaßen, begannen die Arbeiten im Arbeitsraum der Senkkasten. Zunächst wurde durch Forträumen des Kieses an den höheren Stellen der Flußsohle für eine gleichmäßige Auflagerung der Senkkastenschneide gesorgt und unter weiterem Fortschaffen des Bodens an der Schneide der Senkkasten rd. 0,70 m in die Flußsohle abgesenkt. Dann wurde er aus den Spindeln gehängt. Die Ausführbarkeit dieser Maßnahme war ein Zeichen dafür, daß der Senkkasten fest auf dem Boden aufsaß und deshalb auch freigelassen werden mußte. Sonst hätte es vorkommen können, daß die Spindeln in dem Falle, daß der Senkkasten durch die Reibung im Gleichgewicht gehalten wurde (wie es auch beim Absenken des freigelassenen Senkkastens oft geschah), nachgelassen werden mußten und dann plötzlich durch den rutschenden Senkkasten ruckweise gespannt und zerstört wurden. Nach dem Freilassen des Senkkastens begann die Bodenförderung in beiden Schächten. Hierzu dienten in jedem Schacht zwei eiserne Eimer, von denen der eine gefüllt nach oben, der andere leer nach unten ging. Der nach oben geschaffte Boden wurde durch zwei am unteren Schleusenboden angeschlossene Hosen (Text-Abb. 44 und 47) zutage gefördert. Diese Hosen müssen naturgemäß unten nach außen aufschlagende Deckel besitzen, was in dem Falle, daß die inneren Abschlußdeckel nicht geschlossen sind und die unteren Deckel geöffnet werden, für den Druckluftbetrieb gefahrvoll werden kann. Die unteren Deckel waren deshalb gegen gefahrbringendes Öffnen durch je zwei Riegel zwangsläufig gesichert. Die inneren und äußeren Deckel der Personenschleuse und der Betonhosen schlugen sämtlich nach innen auf (Text-Abb. 47). Die äußeren Deckel

konnten also nur in dem Falle geöffnet werden, daß die inneren Deckel geschlossen waren und die Druckluft aus dem betreffenden Vorraum abgelassen war. Beim Öffnen der äußeren Deckel war demnach der innere Druckluftraum unter allen Umständen sicher abgeschlossen.

Schnitt $a-a$. Schnitt $b-b$. Personenschleuse. Betonschleuse. Materialschleuse. Grundriß.

Abb. 47. Schleuse.

Im Senkkasten wurde ununterbrochen von zwei 21 bis 24 Mann starken Kolonnen in acht Stunden dauernden Schichten gearbeitet. Der Arbeitsraum war elektrisch erleuchtet und durch einen Fernsprecher mit dem Maschinenraum verbunden. Alle zwei Stunden wurde den Arbeitern im Senkkasten unentgeltlich Tee und Brot gereicht. Beim Ein- und Ausschleusen wurden die nötigen Vorsichtsmaßregeln beobachtet. In der kälteren Jahreszeit wurden in der Schleuse wollene Decken vorrätig gehalten, in die die Arbeiter sich beim Verlassen der Schleuse einhüllen mußten. Auf diese Weise sind dauernde gesundheitliche Störungen der Leute, die im Senkkasten zu tun hatten, verhütet worden. Die Druckluft erreichte im Senkkasten des mittleren Strompfeilers die größte Spannung und zwar einer Wassersäule von 16,5 m Höhe entsprechend 1,65 Atm. In 24 Stunden wurden durchschnittlich 180 cbm Boden aus dem Senkkasten zutage gefördert. Mit dem weiteren Absenken der Senkkasten ging die Aufmauerung der Pfeiler Hand in Hand, wobei die Oberkante des Mauerwerks mit Rücksicht auf steigendes Wasser 1,4 bis 1,5 m über dem jeweiligen Wasserstande gehalten wurde (Text-Abb. 48). Dieser Vorsprung wurde auf Grund der beim Bau anderer Rheinbrücken gewonnenen Erfahrungen für ausreichend erachtet, um auch bei schnell steigendem Wasser nur bereits abgebundenes Mauerwerk unter Wasser kommen zu lassen und mit der Oberkante des Mauerwerkes über Wasser zu bleiben. Beim rechten und mittleren Strompfeiler erwies sich diese Annahme auch als richtig. Beim Bau des linken Strompfeilers brachte der Rhein in der Zeit vom 5. bis 12. November 1910 aber eine ganz außergewöhnliche Hochwasserwelle. Das Wasser stieg in dieser Zeit um 6,20 m, in 24 Stunden allein um 2,20 m. Trotzdem die Absenkungsarbeiten sofort eingestellt wurden und mit allen verfügbaren Kräften ohne Unterbrechung Tag und Nacht gearbeitet wurde, kam das frische, vollständig unabgebundene Bruchstein- und Quadermauerwerk doch in das Wasser hinein. Um das frische Bruchsteinmauerwerk vor Ausspülungen zu schützen, wurde es auf den ganzen Umfang des Pfeilers mit starker Sackleinewand umwickelt, die auf dem unteren und oberen Absatz mit Sandsäcken und Steinen beschwert wurde (Text-Abb. 49), und an der dem Strome zugekehrten Spitze des Pfeilers außerdem noch durch leere Zementsäcke behängt, wie es die Text-Abb. 50 veranschaulicht. Die Lager- und Stoßfugen des Quadermauerwerks wurden besonders sorgfältig durch Putzwolle gedichtet, hinter der der flüssig eingebrachte Zementmörtel abbinden konnte. Durch diese Maßregeln ist es gelungen, den Pfeiler vor ernsten Beschädigungen zu schützen, wie im Sommer 1911 bei außerordentlich niedrigem Wasserstande festgestellt wurde. Auch gelang es durch angestrengte Arbeit bei Tag und Nacht, den Pfeiler über Wasser zu halten, wenn auch oft nur um 3 bis 5 cm. Wäre der Pfeiler in den tieferen Schichten schon vom Wasser überflutet worden, so hätten die Absenkungsarbeiten sehr lange ruhen müssen, denn das Hochwasser verlief sich nur sehr langsam.

Beim rechten und linken Strompfeiler war nur je eine Betonmischmaschine mit einer durchschnittlichen Zwölfstundenleistung von 100 cbm in Betrieb, beim mittleren Strompfeiler wegen der größeren Betonmasse zeitweise deren zwei. Beim rechten Strompfeiler stand die Mischmaschine in halber Höhe zwischen unterer und oberer Arbeitsbühne neben dem Entladesteg. Von hier aus wurde der Beton in Muldenkippern dem Pfeiler auf geneigten Bahnen zugeführt. Beim mittleren Strompfeiler stand die eine Mischmaschine auf der oberen Arbeitsbühne (Text-Abb. 41), die andere auf der

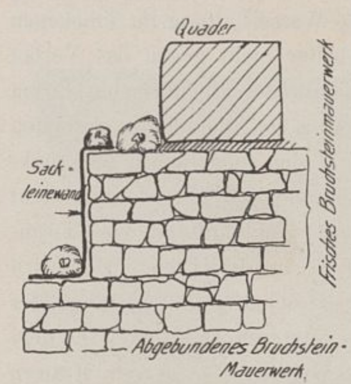


Abb. 49. Schutz des Bruchsteinmauerwerks gegen Ausspülung.

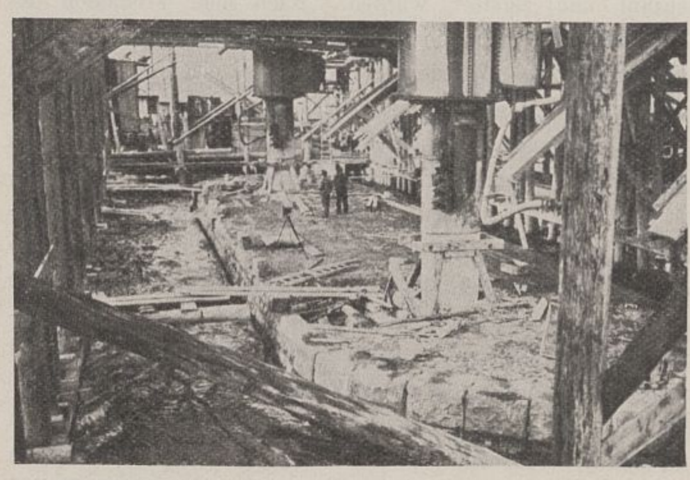

Abb. 48. Mittlerer Strompfeiler im Zustande des Absenkens.


Abb. 50. Linker Strompfeiler während des Baues im Hochwasser.



Abb. 51. Rechter Strompfeiler während des Absenkens im Hochwasser mit dahinter liegender Kraftanlage.

unteren Bühne. Von der hochstehenden Mischmaschine wurde der Beton in Muldenkippern auf die obere Arbeitsbühne gefahren und von hier auf Rutschen in den Pfeilerhohlraum geschüttet (Text-Abb. 48). Die tiefstehende Mischmaschine konnte wegen des hohen Wasserstandes leider nicht oft in Tätigkeit treten. Beim linken Strompfeiler stand die Betonmischmaschine ebenfalls auf der oberen Arbeitsbühne.

Sobald die Senkkastenschneide 5 bis 9 cm über der planmäßigen Gründungstiefe angekommen war, wurde der Senkkasten durch je zwei kräftige, auf Eichenbohlen stehende Holzstempel unter jedem Querträger abgefangen, wodurch man erreichte, daß der Senkkasten sich nicht mehr als um das vorgesehene Maß von 5 bis 9 cm setzte. Kleine Unstimmigkeiten wurden in den Lagerfugen ausgeglichen. Alsdann begann das Ausbetonieren des Arbeitsraumes, wobei eine Leistung von 180 cbm in 24 Stunden erzielt wurde. Nach Vollendung dieser Arbeit wurde die Luft abgeblasen, die Schleusen und die Schächte wurden entfernt und die Schachtöffnungen mittels Trichters zubetoniert.

Die Basaltlavaquadern und die Auflagersteine wurden von Schwimmkranen auf die Pfeiler gehoben und von Hand versetzt. Die kleinen Quadern wurden ins volle Mörtelbett gesetzt und ihre Stoßfugen ausgestopft. Die großen Quadern wurden auf eichenen Keilen versetzt und ihre Lager- und Stoßfugen mit Putzwolle gedichtet und vergossen.

Die Kraftanlage zur Erzeugung der Druckluft für die Senkkasten, der elektrischen Kraft zur Bedienung der Betonmischmaschinen, der Ablaßmaschinen und der Aufzugsmotoren und zur Beleuchtung der Arbeitsräume in den Senkkasten und der Pfeiler befand sich, wie schon kurz erwähnt wurde, auf zwei nebeneinander gekuppelten Schiffen, die jedesmal hinter dem in Arbeit befindlichen Strompfeiler lagen (Text-Abb. 51). Von den beiden in der schwimmenden Kraftanlage aufgestellten Lanz-Lokomobilen, von denen die eine 70 PS, die andere 60 PS stark war, war immer nur eine im Betrieb. Die andere befand sich aber stets unter Dampf, um im Notfalle sofort in Betrieb treten zu könnnen. An diese Lokomobilen waren zwei Riemenluftpumpen mit einer Leistung von je 9 cbm angesaugter Luft in der Minute und eine Dampfluftpumpe mit einer Leistung von 5 cbm angesaugter Luft in der Minute angeschlossen. Zur Erzeugung der Druckluft für den Senkkasten des rechten Strompfeilers war nur die eine der beiden Riemenluftpumpen in Betrieb, für die weit größeren Senkkästen des mittleren und linken Strompfeilers mußten beide Riemenluftpumpen arbeiten. Die Dampfluftpumpe diente nur zur Aushilfe und lief nur beim Kürzermachen der Riemen und bei sonstigen Ausbesserungsarbeiten. Zur Erzeugung der elektrischen Kraft waren zwei parallel geschaltete Dynamomaschinen von 220 Volt an die Lokomobilen angeschlossen. Trotzdem nur eine Kraftanlage für den Bau aller drei Strompfeiler errichtet wurde, und die Vorrichtungen zum Aufhängen und Ablassen der Senkkasten nur in einer Ausführung vorhanden waren, die hiervon abhängigen Arbeiten an den Pfeilern also nur nacheinander vorgenommen werden konnten, und trotz der außerordentlich ungünstigen Wasserverhältnisse wurden die Pfeiler doch dank der großen Erfahrungen und der Zuverlässigkeit der Tiefbauunternehmung Grün u. Bilfinger in sehr kurzer Zeit fertiggestellt. Aus der nachstehenden Zusammenstellung ist der Bauvorgang der drei Strompfeiler zu ersehen.

Bezeichnung der Arbeit	Zeit der Ausführung der Arbeit		
	am rechten Strompfeiler	am mittleren Strompfeiler	am linken Strompfeiler
Beginn des Rammens des Senkkastengerüstes . . .	4. April 1910	18. Mai 1910	26. Juni 1910
Vollendung des Senkkastengerüstes	20. April 1910	28. Juni 1910	30. Juli 1910
Beginn des Ablassens des Senkkastens	13. Juni 1910	4. Aug. 1910	11. Okt. 1910
Vollendung des Betonierens im Arbeitsraum des Senkkastens und Abblasen der Druckluft . . .	11. Juli 1910	4. Okt. 1910	2. Dez. 1910
Vollendung des Pfeilers bis auf kleine Nacharbeiten	10. Aug. 1910	7. Nov. 1910	1. Febr. 1911

Die Basaltlavaquadern der Strompfeiler kamen aus den Eifelbrüchen der Firma D. Zervas Söhne in Köln a. Rhein.

g) Die Herstellung der Überbauten auf dem Vorlande. Die Errichtung der Vorlandüberbauten bereitete

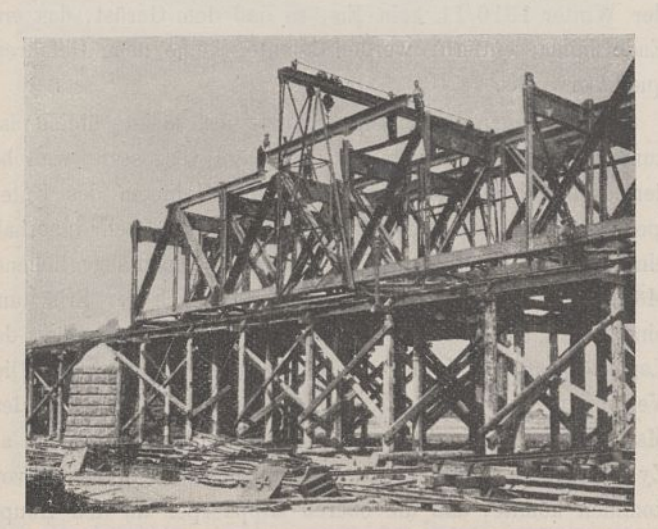


Abb. 52. Errichtung der Vorlandüberbauten.

keine Schwierigkeiten. Sie konnten sämtlich auf festen Gerüsten zusammengebaut werden (Text-Abb. 52). Von diesen wurden drei vorrätig gehalten, so daß zu gleicher Zeit die Überbauten dreier Öffnungen in Arbeit sein konnten. Die Pfosten der Gerüste wurden nur in der dem rechten Strompfeiler benachbarten Öffnung gerammt, in allen anderen Öffnungen auf Grundschwellen gestellt. Die Eisenteile kamen auf dem Wasserwege aus dem Hafen der Friedrich-Alfred-hütte in Rheinhausen zur Baustelle, wurden hier an den Entladestegen entladen, auf Baugleisen unter die Gerüste gefahren, hier von einem von Hand bedienten Aufstellkran hochgezogen und schließlich eingebaut. Zunächst wurden die Untergurte ausgestreckt, dann die Pfosten mit den Querträgern, weiter die Schrägstäbe und die Obergurte (Text-Abb. 52) und schließlich die Schwellenträger eingebaut. Die Löcher für sämtliche Niete, die auf der Baustelle geschlagen werden mußten, wurden im Werk 3 mm kleiner gebohrt und auf der Baustelle um dieses Maß aufgerieben. Die Lager wurden zunächst auf Eisenkeilen versetzt und dann unter Umhüllung mit einem Holzrahmen mit flüssigem Zementmörtel 1:2 untergossen. Die Arbeiten begannen im August 1910 und waren am 31. Oktober 1911 vollendet.

h) Die Errichtung der Stromüberbauten.

α) Die seitlichen Überbauten. Die Seitenöffnungen durften auf Grund der Verordnung der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt mit festen Gerüsten ohne Durchlässe für die Schiffahrt eingerüstet werden. Von dieser Erlaubnis wurde selbstverständlich Gebrauch gemacht, dabei aber dem Wunsch dieser Behörde, nach Möglichkeit die rechte Seitenöffnung während der Zeit, in der die Hauptstromöffnung durch Gerüste beengt sei, von Gerüsten ganz frei zu halten, dadurch Rechnung getragen, daß bereits im Hochsommer des Jahres 1910 mit dem Bau des rechten Seitenüberbaues begonnen wurde, selbstverständlich in der Absicht, ihn so zeitig fertigzustellen, daß am 15. Dezember desselben Jahres diese Gerüste aus dem Rhein entfernt werden konnten. Mit dem Rammen des Gerüstes (Abb. 2 Bl. 40) wurde am 15. August 1910 und mit den eigentlichen Aufstellungsarbeiten am 15. Oktober 1910 begonnen. Die Eisenteile kamen auf dem Wasserwege aus dem Hafen in Düsseldorf zur Baustelle. Die beladenen Kähne fuhren in die Entladeöffnung des Gerüstes, wo die Eisenteile von dem Aufzugskran (in Abb. 2 Bl. 40 links) hochgezogen wurden. Auf kleinen Wagen wurden sie dann dem Aufstellkran (in Abb. 2 Bl. 40 rechts) zugeführt. Zunächst wurden die Untergurte ausgestreckt, dann wurden die Fahrbahnteile verlegt und die Pfosten eingebaut (Abb. 2 Bl. 40) und schließlich die Schrägstäbe angeschlossen und die Obergurte aufgelegt. Leider verzögerte sich die rechtzeitige Fertigstellung des mittleren Strompfeilers wegen des vierwöchigen unliebsamen Aufenthaltes, den das Hochwasser dem Einfahren des Senkkastens dieses Pfeilers brachte, um einige Wochen. Der Überbau konnte daher nicht in seiner ganzen Länge ausgestreckt werden, der lezte Teil am mittleren Strompfeiler mußte vielmehr zunächst liegen bleiben. Dies brachte schon dem planmäßigen Bauvorgang des Überbaues ein unangenehmes Hindernis. In der Nacht vom 12. zum 13. November trat aber ein Ereignis ein, das die rechtzeitige Fertigstellung unmöglich machte. Infolge des außerordentlich hohen Hochwassers rissen am Abend des 12. November bei Hochfeld und Duisburg drei große Flöße entwei. Die starken, langen Stämme trieben einzeln und in Bündeln mit großer Gewalt in der Nacht gegen das Gerüst. Annähernd 450 Stämme legten sich in wirrem Durcheinander vor und in das Gerüst, stauten das Wasser 60 cm auf und brachten dadurch Gerüst und Überbau in ernste Gefahr. Gleich oberhalb der Baustelle wurden Hunderte von Stämmen und einzelne Floßteile ans Ufer getrieben, auch diese drohten infolge des steigenden Wassers loszukommen und gegen das Gerüst zu treiben. Sobald es Tag geworden war, wurde mit den Rettungsarbeiten begonnen. Zunächst wurden die Floßteile, die am Ufer lose lagen, verankert und hierdurch für das Gerüst unschädlich gemacht. Ein Dampfer wurde stromaufwärts geschickt, um immer noch ankommende Floßteile abzufangen und diese in die Hauptstromöffnung zu leiten. Mit zwei weiteren starken Dampfern wurden die eigentlichen Rettungsarbeiten betrieben. Sie gingen unmittelbar oberhalb der Rüstung vor Anker und ließen ihre Schlepptrossen, deren Ende an ein kräftiges Holz gebunden wurde, bis zum Gerüst schwimmen. Von Leuten, die auf den unteren Zangen des Gerüstes standen, wurde die Trosse in Empfang genommen, um einen Pfahl oder auch um mehrere zusammenliegende Stämme geschlungen und mit Klammern befestigt. Die Dampfer zogen darauf die gefaßten Stämme langsam und vorsichtig aus dem Gerüst heraus und ließen sie durch die Hauptöffnung treiben. Das Losmachen der Stämme von den festgeklammerten Trossen in dem reißenden Hochwasser war noch mühsamer als das Festmachen und dauerte oft sehr lange Zeit. An ein Bergen der wertvollen Stämme war leider wegen der dem Gerüst drohenden Gefahr nicht zu denken. Nach dreitägiger angestrengter Arbeit gelang es, das Gerüst so weit freizumachen, daß keine Gefahr mehr bestand. Ohne üble Folgen für das Gerüst und den halbfertigen Überbau war der Aufstau des Wassers aber nicht verlaufen. Die Oberkante des Gerüstes war samt dem Überbau in der Stromrichtung um 30 cm aus der Längsachse gedrückt worden. Der Überbau mußte daher in langwieriger Arbeit wieder gerichtet werden. Dadurch wurde die Fertigstellung so verzögert, daß die Gerüste am 15. Dezember nicht aus dem Rhein entfernt werden konnten. Glücklicherweise brachte der Winter 1910/11 kein Eis, so daß dem Gerüst, das erst Ende Januar entfernt werden konnte, keine neue Gefahrenquelle erwuchs.

Die Lager wurden nicht, wie es meist üblich ist, zunächst auf Keilen versetzt und dann vergossen, weil bei den großen Lagerflächen das tadellose Gelingen des Untergießens höchst zweifelhaft war. Es wurde vielmehr innerhalb eines eisernen Rahmens ein 20 mm starkes, genau abgeglichenes Mörtelbett (1:2) hergestellt, auf dieses nach der Erhärtung eine 3 mm starke Hartbleiplatte von den Flächenmaßen des Lagerkörpers gelegt und auf dieser das Lager versetzt. Dies Verfahren ist bei allen großen Lagern sehr zu empfehlen. Man bilde aber die Lager als Kugelkipplager und nicht als Zylinderzapfenkipplager aus, da es sonst bei letzteren vorkommen könnte, daß die oberen Kippkörper an den Hauptträgern nicht gleichmäßig anliegen.

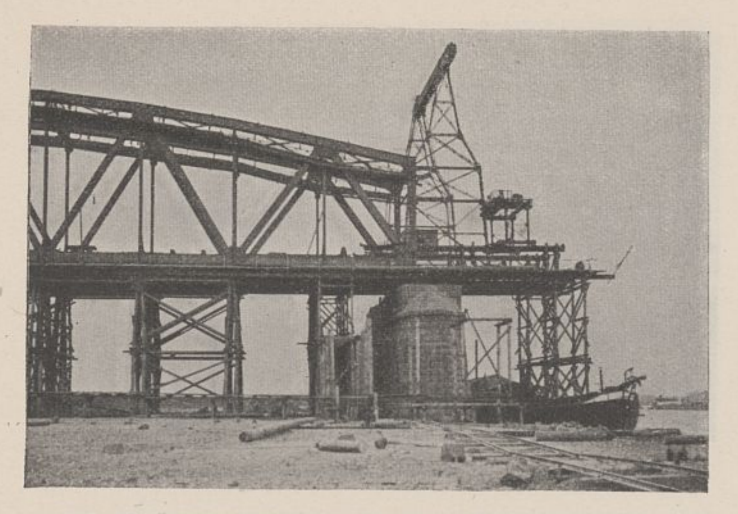


Abb. 53. Aufzugvorrichtung am linken Strompfeiler für den linken seitlichen Überbau.

Der Überbau der linken seitlichen Stromöffnung wurde ebenfalls auf einem festen, gerammten Gerüst zusammengebaut (Abb. 1 Blatt 40). Der Gerüstbau, der Ende Januar 1911 begonnen wurde, nahm vier Wochen in Anspruch. Um diese Eisenteile, die ebenfalls wie beim rechten Seitenüberbau auf dem Wasserwege zur Baustelle kamen, nicht umladen zu müssen, sondern sie unmittelbar aus den Kähnen aufziehen zu können, wurden neben dem linken Strompfeiler zwei Joche gerammt, die in Gemeinschaft mit dem Pfeiler die Bahn für den Aufzugskran stützten (Text-Abb. 53). Mit dem Aufziehen der Eisenteile wurde am 8. März 1911 begonnen. Der ganze Überbau einschließlich der Verbände war am 9. April fertig aufgestellt und am 30. April so weit vernietet, daß er ausgerüstet werden konnte. In 53 Tagen waren 1235 Tonnen aufgestellt und vernietet worden, was als eine sehr gute Leistung zu bezeichnen ist.

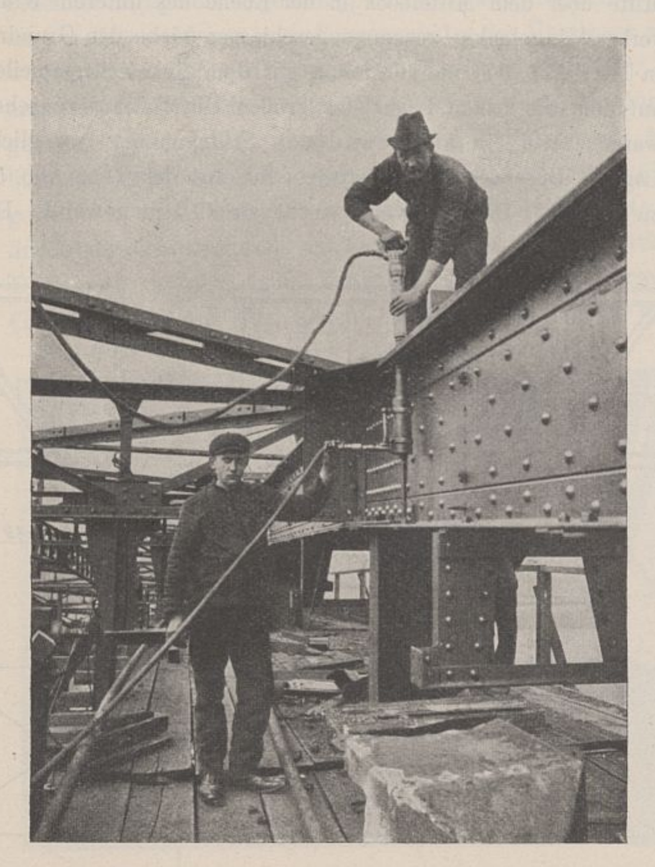


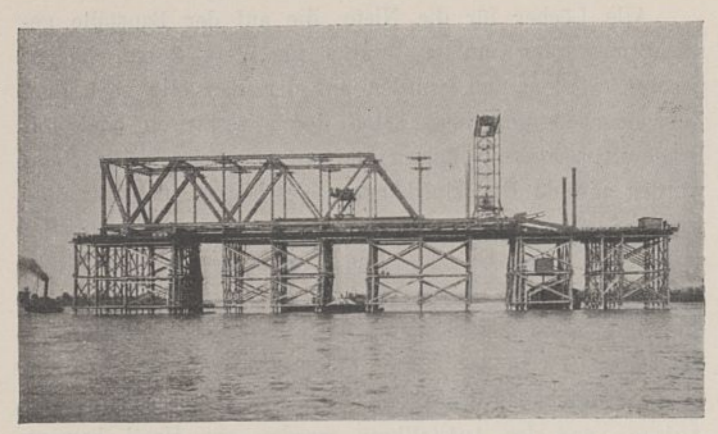
Abb. 54. Nieten mit Drucklufthammer und Druckluftgegenhalter.

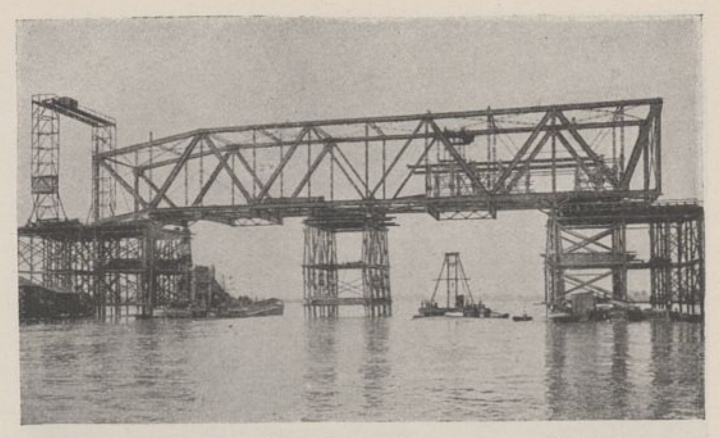
Alle Löcher für die Niete, die auf der Baustelle geschlagen werden mußten, waren im Werk 3 mm kleiner gebohrt worden und wurden auf der Baustelle nach dem Zusammenbau um dieses Maß durch elektrisch oder mit Druckluft betriebene Bohrmaschinen aufgebohrt. Die Niete wurden mittels Drucklufthämmer geschlagen, die Setzköpfe wurden, soweit es irgend ging, durch Druckluftgegenhalter angepreßt (Text-Abb. 54). Die Kraftanlage war in einem überbauten Schiff untergebracht, sie bestand aus einer 85 pferdigen Wolff-Lokomobile mit Überhitzer, einer Riemenluftpumpe, die in der Minute 11 cbm Luft ansaugte und auf 8 Atm. zusammendrückte, und einer Dynamomaschine. Der Aufzug- und der Aufstellkran wurden von Hand bewegt, ihre Katzen wurden elektrisch angetrieben.

β) Der große Stromüberbau.

1. Wahl der Art des Zusammenbaues des großen Überbaues. Auf Grund der Verordnung der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt mußten in der von dem großen Stromüberbau zu überbrückenden Öffnung zwei 80 m weite und 9,10 m über dem höchsten schiffbaren Wasserstande hohe Durchlässe für die Schiffahrt freigelassen werden. Man konnte also nur in der Mitte der Öffnung ein höchstens 20 m breites Gerüst schlagen, das aber bis zum 15. Dezember 1911 wieder aus dem Rhein entfernt sein mußte. Die Forderung der Zentralkommission war ohne Frage im Interesse der außerordentlich lebhaften Schiffahrt erwünscht und berechtigt, sie stellte aber die Brückenbaukunst vor eine schwere Aufgabe. Sollte man den großen Überbau im freien Vorkragen ohne jedes Gerüst bauen, oder sollte man ihn an einer anderen Stelle im Strom auf festem Gerüst zusammenbauen und ihn dann auf schwimmender Rüstung an seine endgültige Stelle bringen, oder sollte man ihn schließlich an Ort und Stelle auf besonderen Rüstträgern, die sich auf die Strompfeiler und ein Mittelgerüst stützten, zusammenbauen? Das freie Vorkragen ist bei einem richtigen Verhältnis der Gewichte der seitlichen Überbauten zum Gewicht des Mittelüberbaues wohl das gefahrloseste und wirtschaftlichste Verfahren. Es ist in diesem Falle nicht nur bei Auslegerträgern, sondern auch bei einfachen Balkenträgern am Platze. Man muß nur bei letzteren die seitlichen Überbauten mit dem Mittelbau vorübergehend in gehörige Verbindung bringen.*) Leider war aber das Verhältnis der Gewichte (3700 : 1200) so ungünstig, daß der Plan, den Überbau im freien Vorkragen herzustellen, nicht weiter in Frage kommen konnte. Der zweiten Ausführungsmöglichkeit standen ebenfalls schwere Bedenken entgegen. Man hätte das feste Gerüst mit seiner Länge von rd. 200 m am Ufer in der Stromrichtung errichten müssen, um nicht in unzulässiger Weise die Schiffahrtsrinne einzuengen. Die Folge davon wäre gewesen, daß der Überbau samt der schwimmenden Rüstung nach dem Ausfahren aus der festen Rüstung um 90° hätte geschwenkt werden müssen, ein Vorgehen, das bei dem Gewicht des Überbaues von 3700 t und seiner Höhe von 27 m über dem Gerüst und der starken Krümmung im Rhein sicher als gefahrvoll bezeichnet werden muß. Auch war es fraglich, ob man eine genügende Anzahl ausreichend starker Schiffe für die schwimmende Rüstung

*) Vgl. hierzu „Eisenbau" Jahrgang 1910 S. 156 u. f.


Abb. 55. Zusammenbau der Rüstträger.


Abb. 56. Fertig aufgestellter und ausgerüsteter Rüstträger.

erhalten konnte. Schließlich wäre aber auch das Einfahren selbst und das genaue Einrichten über den Lagern auf den Pfeilern bei der scharfen Krümmung an der Baustelle keine leichte Arbeit gewesen. Daß diese Bedenken vollauf berechtigt waren, hat sich später beim Einfahren der Rüstträger gezeigt. Immerhin kann das Einfahren solch großer Überbauten nicht in das Reich der Unmöglichkeiten verwiesen werden. So soll z. B. der eingehängte Träger der neu zu erbauenden Quebek-Brücke in Kanada, der 192,5 m Stützweite aufweist, auf fester Rüstung an anderer Stelle gebaut und dann auf schwimmender Rüstung zur Brücke gefahren werden. Allerdings soll der Träger in geringer Höhe über dem Wasser zusammengebaut, auf einer niedrigen schwimmenden Rüstung zur Baustelle geschafft und dann hochgezogen werden. Die Hauptschwierigkeit, den Träger zwischen zwei schon bestehende Überbauten ohne großen Spielraum einzufahren und ihn über den Lagern einzurichten, wird hier also umgangen werden.

Wegen der geschilderten Bedenken entschloß man sich, den Überbau auf besonderen Rüstträgern zusammenzubauen, die Rüstträger auf festen Gerüsten an anderer Stelle im Rhein zu errichten und sie auf schwimmenden Rüstungen zur Baustelle zu schaffen und sie hier auf die Strompfeiler und das Mittelgerüst abzusetzen.

Die Rüstträger mußten nach der Vorschrift der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt im Interesse der Schiffahrt mit ihrer Unterkante ebenso hoch wie der Überbau selbst liegen. Man war also gezwungen, den Überbau um die Höhe der Querträger der Rüstträger und der Kopfschrauben und Unterklotzungen (Abb. 10 bis 13 Bl. 38), d. i. rd. 1,60 m über der endgültigen Lage seiner Unterkante zusammenzubauen und ihn später um dieses Maß zu senken. Diese Unbequemlichkeit mußte man ebenso wie die Gefahr, die dem Bestande der Rüstträger und des auf ihnen liegenden Überbaus infolge einer Beschädigung oder Vernichtung des hölzernen Mittelgerüstes durch gegenprallende Schiffe drohten, mit in den Kauf nehmen.

2. Entwurf und Bau der Rüstträger. Errichtung des hölzernen Mittelbockes. Einfahren der Rüstträger. Die Rüstträger wurden als einfache Balkenträger über den beiden durch das hölzerne Mittelgerüst und die benachbarten Strompfeiler gebildeten Öffnungen entworfen (Text-Abb. 57). Es war selbstverständlich notwendig, daß beide Rüstträger bei Wärmeschwankungen dieselben Formänderungen in der Längsachse ausführten wie der Überbau selbst. Zu dem Zwecke wurden die beiden Träger in der Mitte über dem Mittelbock in der Ebene des unteren Windverbandes gelenkig zusammengeschlossen (siehe den Grundriß in Text-Abb. 57) und erhielten auf dem linken Strompfeiler, auf dem die festen Lager des großen Überbaues vorgesehen waren, feste, in allen anderen Stützpunkten bewegliche Lager. Die Form der Rüstträger ist aus der Text-Abb. 57 zu ersehen. Die Stützweite wurde zu 89,4 m gewählt. Die

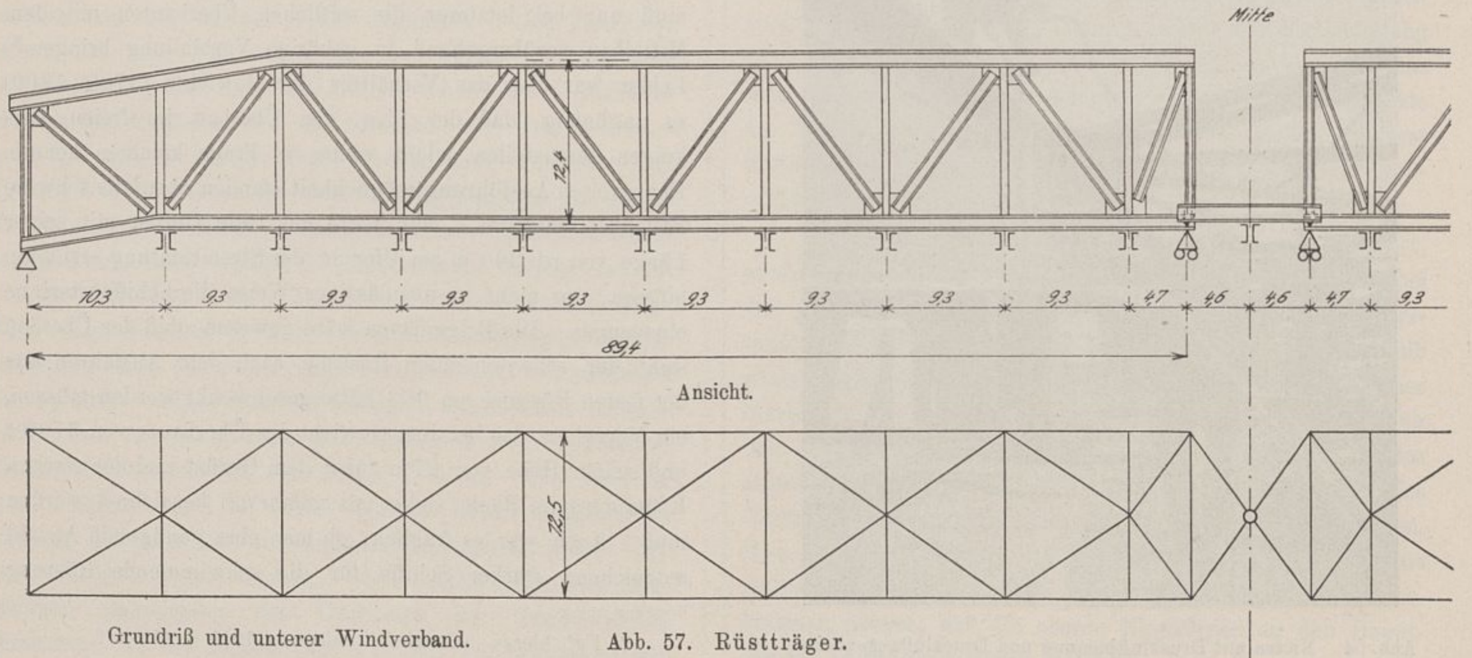


Abb. 57. Rüstträger.



Abb. 58. Der ausgerüstete Rüstträger mit untergefahrenen Schiffsrüstungen.

Feldweite entspricht mit Ausnahme derjenigen des ersten und letzten Feldes jedes Trägers der Feldweite des Überbaues, die zu 9,3 m bemessen wurde. Die rechnerische Höhe beträgt 12,4 m und der Abstand der Hauptträgermitten 12,5 m, ein Maß, das genügt, um die Hauptträger des Überbaues mit 9 m Abstand ihrer Mitten bequem vernieten zu können. In der Ebene der Oberkanten der Obergurte und der Unterkanten der Untergurte wurde je ein Windverband vorgesehen; in den Ebenen aller Lager wurden Portale mit Dreiecksverband angeordnet. Über dem Mittelbock wurde auf beiden Seiten von Rüstträger zu Rüstträger je ein doppelwandiger Blechträger gestreckt, der die Endpfosten zwischen sich faßte und auf den abstehenden Schenkeln der unteren Winkel der Untergurte gelagert war (Text-Abb. 57). Die Querträger wurden, um einen möglichst einfachen Anschluß zu erhalten, unter den Untergurten der Hauptträger angeordnet und mittels Gelenkbolzen an die verlängerten und gehörig verstärkten Pfosten angeschlossen (Text-Abb. 62 und Abb. 10 bis 13 Bl. 38). Sie wurden doppelwandig mit durchgehender Kopfplatte ausgebildet, um für die acht Kopfschrauben, die zur Unterstützung jedes Knotenpunktes des Überbaues notwendig waren, genügend Platz zu schaffen (Abb. 10 Bl. 38). Die einzelnen Teile der Rüstträger wurden sehr sorgfältig durchgebildet. Namentlich wurde auch der knicksicheren Ausbildung der gedrückten Stäbe die größte Aufmerksamkeit geschenkt. Die Obergurte erhielten Kastenquerschnitt mit durchgehender Kopfplatte und Querschotten, alle gedrückten Diagonalen wurden mit Winkeleisenvergitterung versehen (Text-Abb. 60 und 62), deren einzelne Stäbe mit je zwei

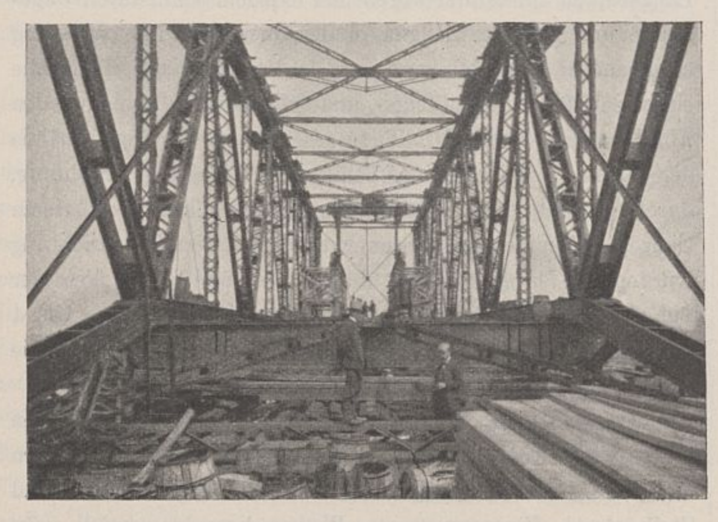


Abb. 60. Blick in den Rüstträger.

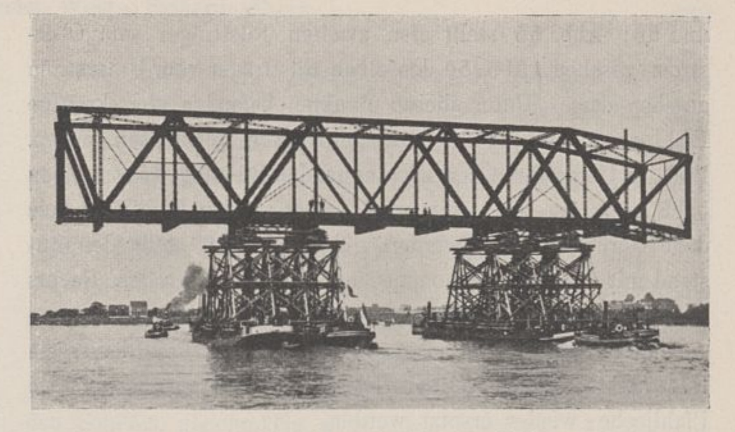


Abb. 59. Rüstträger in voller Fahrt.

Nieten angeschlossen wurden. Die Hauptträger mußten für drei Zustände untersucht werden, erstens für den Zustand der Auflagerung auf der festen Rüstung nach dem Absetzen (Text-Abb. 56), zweitens für den Zustand des Einfahrens (Text-Abb. 59) und schließlich für den Zustand der Belastung durch den Überbau. Für die Glieder der Hauptträger und die Querträger wurde ohne Berücksichtigung der Windkräfte eine Beanspruchung von 1400 kg/qcm und bei Berücksichtigung der Windkräfte eine Beanspruchung von 1600 kg/qcm zugelassen, für die Niete und gedrehten Schrauben in den Gliedern der Hauptträger eine Abscherbeanspruchung von 1100 kg/qcm und eine Lochleibungsbeanspruchung von 2200 kg/qcm. Alle gedrückten Stäbe mußten bei Berücksichtigung der Windkräfte eine vierfache Sicherheit und ohne Berücksichtigung der Windkräfte eine fünffache Sicherheit gegen Knicken nach der Eulerschen Formel aufweisen. Das Eisengewicht jedes Rüstträgers betrug ungefähr 600 t.

Für den Zusammenbau der Rüstträger konnte die Wasserbaubehörde leider keinen Platz in unmittelbarer Nähe der Brücke überweisen, sie forderte vielmehr im Interesse der Schiffahrt, daß das feste Gerüst für den Zusammenbau der Rüstträger 2 km unterhalb der Baustelle gerammt wurde, gestattete aber, daß hier das Gerüst senkrecht zur Stromrichtung gestellt wurde. Aus der Lage des Gerüstes 2 km unterhalb der Brücke ergaben sich bei dem tiefen Wasserstande des Sommers 1911 für das Einfahren des zweiten Rüstträgers außerordentliche Schwierigkeiten, die später noch eingehend beschrieben werden. Um an Gerüstkosten zu sparen, wurde beschlossen, die beiden Rüstträger nach einander auf demselben Gerüst zusammenzubauen. Die Eisenteile kamen auf dem Wasserwege an; die beladenen Kähne fuhren in die in Gerüstmitte liegende Aufzugsöffnung (Text-Abb. 55), wo die Eisenteile von dem Aufzugskran hochgezogen wurden. Die Text-Abb. 55 zeigt den zur Hälfte aufgestellten Rüstträger. Sie läßt auch den Aufstellkran erkennen. Die Kraft für den Aufzugs- und Aufstellkran lieferte die bereits erwähnte, auf einem überdeckten Schiff untergebrachte Kraftanlage. Alle Teile, die auf der Baustelle miteinander verbunden werden mußten, wurden mittels genau passender, gedrehter Schrauben zusammengeschlossen (Text-Abb. 62). Wegen der ungleichen Endfelder jedes der beiden Rüstträger und der umgekehrten Lage der beiden Rüstträger auf dem Gerüst konnten die Rüstträger beim Ausrüsten nicht auf die Lager, sondern mußten auf die vorletzten oder die drittletzten Punkte abgesetzt werden (vgl. die Text-Abb. 55

und 56; Abb. 55 stellt den zweiten Rüstträger vom Oberstrom gesehen, Abb. 56 denselben Rüstträger vom Unterstrom gesehen dar). Unter diesen Punkten befanden sich kräftige Pfahlpyramiden, die den Auflagerdrücken gewachsen waren. Für das Unterfahren der schwimmenden Rüstungen, von denen bald noch die Rede sein wird, mußten vier Pfahljoche aus dem Gerüst entfernt werden. Text-Abb. 56 stellt den Zustand mit den herausgenommenen vier Pfahljochen dar. Rechts ist die schwimmende Rüstung, mittels der die Pfähle herausgenommen wurden, zu sehen. Nach dem Einfahren des ersten Rüstträgers mußten selbstverständlich die herausgenommenen Pfahljoche wieder ersetzt werden.

Während des Baues des Gerüstes für die Rüstträger und während des Zusammenbaues des ersten Rüstträgers wurden der Mittelbock und die Schiffsrüstungen, auf denen die Rüstträger eingefahren werden sollten, hergestellt. Der Mittelbock mußte zur Aufnahme der vier über ihm liegenden Lager der beiden Rüstträger hergerichtet werden (Text-Abb. 61). Jedes Lager, das ohne Winddruck 680 t und mit Winddruck von 150 kg/qcm 770 t zu tragen hatte, wurde durch einen Trägerrost unterstützt, dessen Anordnung in Abb. 5 bis 9 Bl. 38 dargestellt ist. Die untere Lagerplatte ruhte auf zwei der Brückenachse gleichlaufend gelegten Längsträgern, die in 0,71 m Abstand voneinander angeordnet und 4 m weit gestützt waren, und auf vier an diese Träger angeschlossenen Querschotten (vgl. Abb. 7 und 9 Bl. 38.) Die Längsträger wurden durch eine gemeinsame Kopfplatte miteinander verbunden und an zwei quer zur Brückenachse liegenden Trägern angeschlossen. Jeder dieser Träger war 4 m weit gestützt und ruhte auf zwei Kugelkipplagern. Jeder Trägerrost wurde also von vier solcher Lager gestützt, die in den Ecken eines Gevierts von 4 m Seitenlänge lagen. Durch wagerechte und senkrechte Verbände wurde schließlich der Trägerrost zu einem tragsicheren Gebilde zusammengefaßt. Die Einzelheiten des Rostes sind aus den Abbildungen zu ersehen. Jeder der vier Lagerböcke besaß an den vier Seiten der unteren Fläche Vorsprünge (Abb. 9 Bl. 38), die den Kopf einer aus neun Pfählen von 37 cm Durchmesser bestehenden Pyramide umschloß (Abb. 1 bis 4 Bl. 37). Diese Pyramidenpfähle waren 7 m lang und setzten sich unten auf ebenso viele senkrecht stehende, gerammte Pfähle auf. Die Verbindung der senkrechten und geneigten Pfähle wurde durch eiserne Dollen und durch zwei wagerechte Längs- und zwei wagerechte Querzangen gesichert. Die senkrechten Pfähle besaßen mit Ausnahme der Pfähle in den stromab und stromauf liegenden Außenwänden, die aus den Windlasten besonders große Kräfte erhielten, 37 cm Durchmesser. Die Pfähle in den Außenwänden erhielten 42 cm Durchmesser. 5,4 m unter den oberen Enden wurden die 20 m langen senkrechten Pfähle durch wagerechte Längs- und Querzangen verbunden. Oberhalb dieser Zangen wurden in den beiden Stockwerken senkrechte Quer- und Längsverbände aus Holzstreben, unterhalb dieser Zangen senkrechte Verstrebungen aus Rundeisen angeordnet. In den drei Ebenen der wagerechten Längs- und Querzangen wurden wagerechte Verbände vorgesehen (Abb. 3 u. 4 Bl. 37). Stromauf und stromab wurden in den von den mittelsten Pfählen jeder Pyramide gebildeten Wänden besondere Pfahljoche zur Aufnahme der Windkräfte und der Kräfte aus der Strömung des Wassers angeordnet. Sämtliche Zangen wurden sorgfältig verkämmt. Die senkrechten Tragpfähle sind ungefähr 5 m tief in die Flußsohle eingerammt worden. In dieser Tiefe erreichten sie eine nach der „Brixschen“ Formel hinreichende Tragfähigkeit. Dank einer sorgfältigen Ausführung und einer genauen Vermessung des Mittelbockes gelang es, für die Rüstträger genau richtig liegende Lagerpunkte zu schaffen. Bei der Einmessung des Mittelbockes wurde so vorgegangen, daß zunächst in der Brückenachse unmittelbar neben dem Mittelbock ein aus fünf gerammten und verstrebten Pfählen bestehendes Vermessungsgerüst errichtet wurde, wobei die Ramme von den Basispunkten aus eingewiesen wurde, daß dann auf dem Vermessungsgerüst ein Punkt der Brückenachse markiert, dieser eingerechnet und schließlich von ihm aus die Einmessung des Mittelbockes vorgenommen wurde. Zum Schutz gegen anfahrende Schiffe wurde ein Leitwerk aus Rammpfählen und Streichbalken rings um den Mittelbock hergestellt (Text-Abb. 61). Außerdem wurde zur weiteren Sicherung des Bockes gegen Beschädigung durch abtreibende Kähne ein kräftiger Dampfer vor ihn gelegt, der stets unter Dampf war und auf abtreibende Fahrzeuge aufzupassen hatte.

Gleichzeitig mit dem Mittelbock wurden die Schiffsrüstungen zum Einfahren der Rüstträger hergestellt. Jeder der beiden Hauptträger jedes Rüstträgers sollte an vier Knotenpunkten, von denen je zwei benachbart waren, unterstützt werden. Zu diesem Zwecke waren vier Schiffe erforderlich, von denen je zwei durch die Verbände der auf ihnen errichteten Rüstungen zusammengekuppelt wurden (Abb. 1 bis 4 Bl. 38). Als unmittelbare Unterstützung der Knotenpunkte wurden zum Ausgleich der Höhenlage der Rüstungen bei verschiedenen Wasserständen Stapel aus scharfkantigen Balken vorgesehen, die über jedem Schiffspaar durch wagerechte, durchgehende Längs- und Querbalken zur Sicherung gegen Umkippen miteinander verbunden wurden. Jeder der Stapel ruhte auf fünf miteinander verschraubten **I**-Eisen N. Pr. $42^1/_2$, deren Zwischenräume mit Holz ausgefuttert waren. Die **I**-Eisen wurden von zwei in 5 m Abstand stehenden, senkrechten Tragjochen gestützt. Jedes der beiden Joche eines Schiffes bestand aus acht Pfählen, die zur Übertragung der Auflagerkraft auf eine möglichst große Länge des Schiffskörpers von den Auflagerpunkten nach unten gespreizt waren. In der Höhe der Schiffsoberkanten setzten sich die geneigten Pfähle auf senkrecht stehende Pfosten auf, die von Längsbalken unterstützt waren und in jedem Schiff durch wagerechte und geneigte Zangen in der Quer- und Längsrichtung miteinander verstrebt waren. Die Verbände der Tragjoche eines Schiffes in der Längs- und Querrichtung sind aus den Abbildungen 1 und 2 Bl. 38 zu ersehen, ebenso die Verbände der inneren Tragjoche eines Schiffspaares in der Querrichtung, durch die die beiden Schiffe in dieser Richtung zu einem Ganzen zusammengeschlossen wurden. In der Längsrichtung wurden die beiden Schiffe durch die unmittelbar über der Schiffsoberkante liegenden wagerechten Verbände (siehe Abb. 4 Bl. 38) zusammengekuppelt. Alle Zangen wurden in die Pfähle und Pfosten eingekämmt.

Das Abheben der Rüstträger von den festen Rüstungen sollte durch Auspumpen von Wasserballast aus den Schiffen und das Absetzen der Rüstträger auf die Lager an Ort und Stelle durch Einpumpen von Wasser bewirkt werden. Zu

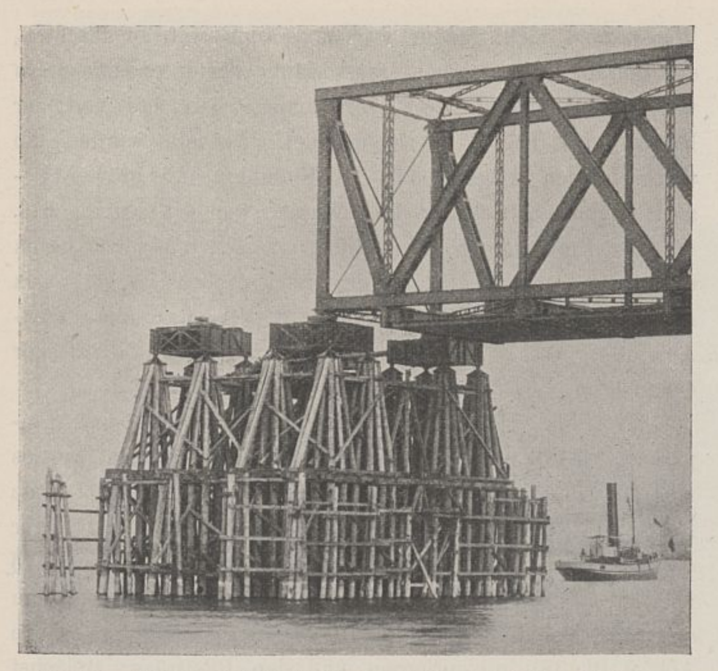


Abb. 61. Hölzerner Mittelbock mit einem der beiden Rustträger.

dem Zweck wurde jedes Schiffspaar mit einer elektrisch angetriebenen Kreiselpumpenanlage ausgerüstet, durch die in beide Schiffe Wasser aus dem Rhein und umgekehrt aus beiden Schiffen in den Rhein gepumpt werden konnte. Auch konnte durch Einstellung der Ventile die ein- und auszupumpende Wassermenge für jedes Schiff besonders geregelt werden. Die Pumpenanlage ist in den Abb. 1 und 2 Bl. 38 auch zur Darstellung gebracht.

Mit dem Bau der festen Rüstung für die Rüstträger wurde am 27. März 1911 begonnen; am 21. Mai 1911 war die Rüstung einschließlich der Errichtung des Aufstellungskranes fertig, so daß am 24. Mai 1911 mit dem Aufzug der Eisenteile für den ersten Rüstträger begonnen werden konnte. Am 16. Juni 1911 war der erste Rüstträger fertig aufgestellt.

Die Höhe des festen Gerüstes der Rüstträger war so bemessen, daß bei einem Wasserstande von 22,00 über N. N. der Rüstträger auf dem Gerüst ebenso hoch über dem Wasserspiegel lag wie in seiner endgültigen Lage im Zuge der Brücke. Bei tieferen Wasserständen lag also der Rüstträger infolge des geringeren Gefälles des Rheines auf dem Gerüst niedriger, und bei höheren Wasserständen infolge des stärkeren Gefälles höher über dem Wasserspiegel als in seiner endgültigen Lage im Zuge der Brücke.

Die Herstellung der Rüstungen auf den Schiffen nahm die Zeit vom 8. Mai bis 18. Juni, die Errichtung des Mittelbockes einschließlich der Trägerroste die Zeit vom 22. April bis 21. Juni in Anspruch. In der Zeit vom 16. bis 21. Juni wurde der Rüstträger ausgerüstet, die Joche, die der Einfahrt der schwimmenden Rüstungen im Wege waren, herausgenommen (Text-Abb. 56) und die Holzstapel teilweise auf die schwimmende Rüstung aufgebracht. Am Abend des 21. Juni wurden dann die Schiffe mit Wasserballast beschwert und unter den Rüstträger gefahren (Text-Abb. 58). Am frühen Morgen des 22. Juni um 4 Uhr wurden dann die Holzstapel, die des günstigen Wasserstandes von 22,00 über N. N. nur rd. 1 m hoch zu sein brauchten, vollendet und mittels Brettlagen zur Anlage an die Knotenpunkte des Rüstträgers gebracht. Bei dem nun folgenden Auspumpen des Wassers mußte so vorgegangen werden, daß alle vier einzelnen Schiffsrüstungen die gleiche Last erhielten. Zu dem Zwecke mußte zunächst bis zu dem Augenblick des Abhebens des Rüstträgers von dem festen Gerüst aus allen Schiffen die gleiche, dem Auflagerdruck des Rüstträgers entsprechende Wassermenge ausgepumpt werden und dann diejenige Wassermenge jedem Schiffe entnommen werden, die einem gleichmäßigen, weiteren Anheben, für das im ganzen 12 cm vorgesehen wurden, entsprach. Wären alle vier Schiffe gleich gewesen, so hätte man einfach den Wasserstand in den Schiffen gleichmäßig abzusenken brauchen. Leider war es aber nicht möglich gewesen, auch nur zwei gleiche Schiffe zu erhalten. Man mußte daher beim Einpumpen des Wassers unter Benutzung der Angaben in den Schiffsbüchern die einer größeren Zahl verschiedener Eintauchtiefen der Schiffe entsprechenden Wassermengen im Innern der Schiffe anzeichnen und hatte dadurch ein Mittel an der Hand, gleiche Wassermengen aus allen Schiffen zu entfernen und unter Benutzung der Angaben in den Schiffsbüchern auch solche Wassermengen auszupumpen, die einem gleichmäßigen Heben aller Schiffe entsprachen.

Um 10 Uhr war der Rüstträger so weit von dem Gerüst abgehoben, daß die Fahrt zur Baustelle angetreten werden konnte. Ein sehr kräftiger Schleppdampfer nahm beide Schiffspaare ins Schlepptau, zwei weitere schwächere Bugsierdampfer je ein Schiffspaar. Der 2 km lange Weg wurde in 25 Minuten zurückgelegt. Die Fahrt ging glatt vonstatten. Es zeigte sich, daß durch den Rüstträger selbst eine vollständig sichere Verbindung der beiden Schiffspaare hergestellt wurde, die der Sicherheit halber vorgesehenen Drahtseilverbindungen der Schiffspaare also unnötig waren. Abb. 1 Bl. 41 stellt den Augenblick dar, in dem der Rüstträger eben das feste Gerüst verlassen hat, Text-Abb. 59 zeigt den Rüst-

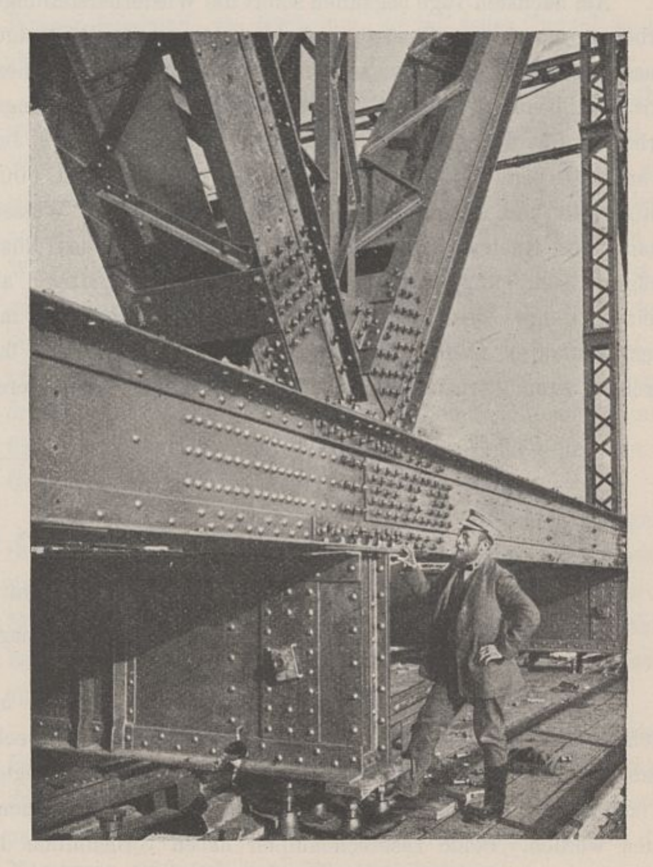


Abb. 62. Knotenpunkt eines Rüstträgers.

träger in voller Fahrt und Abb. 2 Bl. 41 bei seiner Ankunft auf der Brückenbaustelle. Hier begannen nun die langwierigen und schwierigen Arbeiten zum Einrichten der Lagerpunkte des Rüstträgers über den Lagern. Um auf der einen Seite einen Zusammenstoß der Endpfosten des Rüstträgers mit dem seitlichen fertigen Überbau, auf der andern Seite ein Gegenprallen des letzten Querträgers des Rüstträgers gegen den Trägerrost auf dem Mittelblock zu vermeiden, mußte sehr vorsichtig zu Werke gegangen werden. Versuche, den Rüstträger durch den großen Schleppdampfer und die Ruder der Schiffe der Rüstungen allein einzurichten, mußten aufgegeben werden, da der Träger durch die Strömung, die an dieser Stelle infolge der scharfen Krümmung des Stromes sehr heftig und ungleichmäßig ist, hin- und hergeworfen wurde. Von den vorderen Schiffswinden aus wurde dann jedes Schiffspaar für sich an einem stromaufwärts ausgeworfenen Anker festgemacht. Das dem Pfeiler benachbarte Schiffspaar wurde weiter an den Schiffhalteringen des Pfeilers und das andere Schiffspaar an dem Mittelbock durch Drahtseile festgelegt. Durch Anziehen und Nachlassen der Winden und der Drahtseile wurde dann allmählich der Rüstträger über den festen Lagern auf dem Pfeiler in die richtige Lage gebracht. Die beweglichen Lager brauchten nur um 1 bis 2 cm in der Längsrichtung verschoben zu werden, um sich auch genau unter den Lagerpunkten des Rüstträgers zu befinden. Alsdann wurden die Pumpen wieder in Betrieb gesetzt und Wasser in die Schiffe gepumpt, um die Rüstträger auf die Lager abzusetzen und die schwimmenden Rüstungen so weit zu senken, daß sie fortgeschleppt werden konnten. Nachmittags um 3 Uhr, also nach elfstündiger Arbeit, war die Öffnung wieder frei (Abb. 1 Bl. 39), und die Schiffahrt, die von früh 5 Uhr an gesperrt worden war, konnte wieder freigegeben werden.

Am nächsten Tage begannen sofort die Wiederherstellungsarbeiten am festen Gerüst, auf dem der zweite Rüstträger zusammengebaut werden sollte. Am 1. Juli waren diese Arbeiten beendet. Am 2. Juli wurde mit den Aufstellungsarbeiten für den zweiten Rüstträger begonnen, am 19. Juli waren sie bereits beendet. In 18 Tagen waren also rd. 600 t aufgestellt und endgültig verschraubt worden. Der Wasserstand des Rheins war leider für das Einfahren des Rüstträgers sehr ungünstig, er war über 1 m niedriger als beim Einfahren des ersten Rüstträgers. Man durfte aber mit dem Einfahren wegen der Dringlichkeit der Ausführung des großen Stromüberbaues in Hoffnung auf einen günstigeren Wasserstand nicht länger warten. Auch war zu fürchten, daß sich die Wasserverhältnisse vorläufig weiter verschlechtern würden, da überall große Trockenheit herrschte und der Rhein jeden Tag 7 bis 10 cm fiel. Deshalb wurden die vorbereitenden Arbeiten für das Einfahren mit größter Beschleunigung betrieben. Das Wasser war so niedrig, daß, um das Herausfahren der Schiffsrüstungen aus dem festen Gerüst zu ermöglichen, durch einen großen Bagger auch noch eine vertiefte Rinne hergestellt werden mußte (Text-Abb. 56). Am 23. Juli wurde dann der zweite Rüstträger eingefahren.

Trotzdem die Tragfähigkeit der Schiffe beim Einpumpen des Wasserballastes voll ausgenutzt wurde, war es nicht möglich, den Rüstträger so weit zu heben, daß seine Lagerpunkte bei der Ankunft auf der Baustelle die Lager auf dem Pfeiler und dem Mittelblock um ein geringes Maß überragten, weil das Gefälle des Rheins zu gering war. Man sah sich deshalb gezwungen, die oberen Lagerkörper (siehe Abb. 9 Bl. 38) zu entfernen und den Rüstträger zunächst über den unfertigen Lagern ungefähr einzurichten. Nachdem dies geschehen war, wurde der immer noch auf den Schiffsrüstungen ruhende Rüstträger mittels Kopfschrauben, die zwischen den Lagerkörpern und dem Rüstträger eingespannt wurden, so weit gehoben, daß die oberen Lagerkörper wieder eingeschoben werden konnten. Alsdann wurde der Träger genau eingerichtet und durch Einpumpen von Wasserballast in die Schiffe auf die Lager abgesetzt. Alle diese Arbeiten waren sehr mühsam und zeitraubend. Trotzdem bereits um 4 Uhr morgens mit den Arbeiten begonnen war und trotz den beim Einfahren des ersten Rüstträgers gewonnenen Erfahrungen, war die Öffnung erst abends um $7\frac{1}{2}$ Uhr wieder frei.

Wie bereits erläutert wurde, besaß der zweite, rechts gelegene Rüstträger nur bewegliche Auflager. Für das Einrichten mußten aber auf dem einen Ende dieses Trägers feste Punkte geschaffen werden. Zu dem Zwecke wurden die auf dem Mittelbock liegenden beweglichen Rollenlager durch Eintreiben starker Eichenkeile zwischen die Rollen vorübergehend in feste Lager verwandelt. Nachdem dann in den folgenden Tagen die Verbindungsträger und der die beiden Rüstträger zusammenschließende Windverband über dem Mittelbock (vgl. Text-Abb. 57) eingebaut waren, wurden die Holzkeile wieder entfernt. Die beiden Rüstträger verhielten sich nun bei Formänderungen wie ein Ganzes.

(Schluß folgt.)

Eisbrechdampfer „Liebe“ der Weichselstrombauverwaltung.

Vom Königl. Baurat Meiners in Gr. Plehnendorf.

(Mit Abbildungen auf Blatt 42 im Atlas.)

Der Eisbrechdampfer „Liebe“ (Text-Abb. 1) ist als Schwesterschiff des im Jahre 1904 beschafften Eisbrechdampfers „Gardenga“ als Tunnelheckdampfer mit geringem Tiefgange erbaut und im Dezember 1910 in Betrieb genommen worden. Beide Eisbrechdampfer haben vornehmlich die Aufgabe, das Eis auf dem oberen Teile des preußischen Weichselstromes zu brechen, wo zu Zeiten geringe Wassertiefen herrschen, sowie die tiefer gehenden Eisbrechdampfer über etwaige Sandbankübergänge zu schleppen, um ein weiteres Vordringen dieser Dampfer zu ermöglichen. Auf die Mitwirkung der beiden Dampfer beim sogen. Rändern, d. h. beim Abtreiben der noch stehenden, die künstlich gebrochene

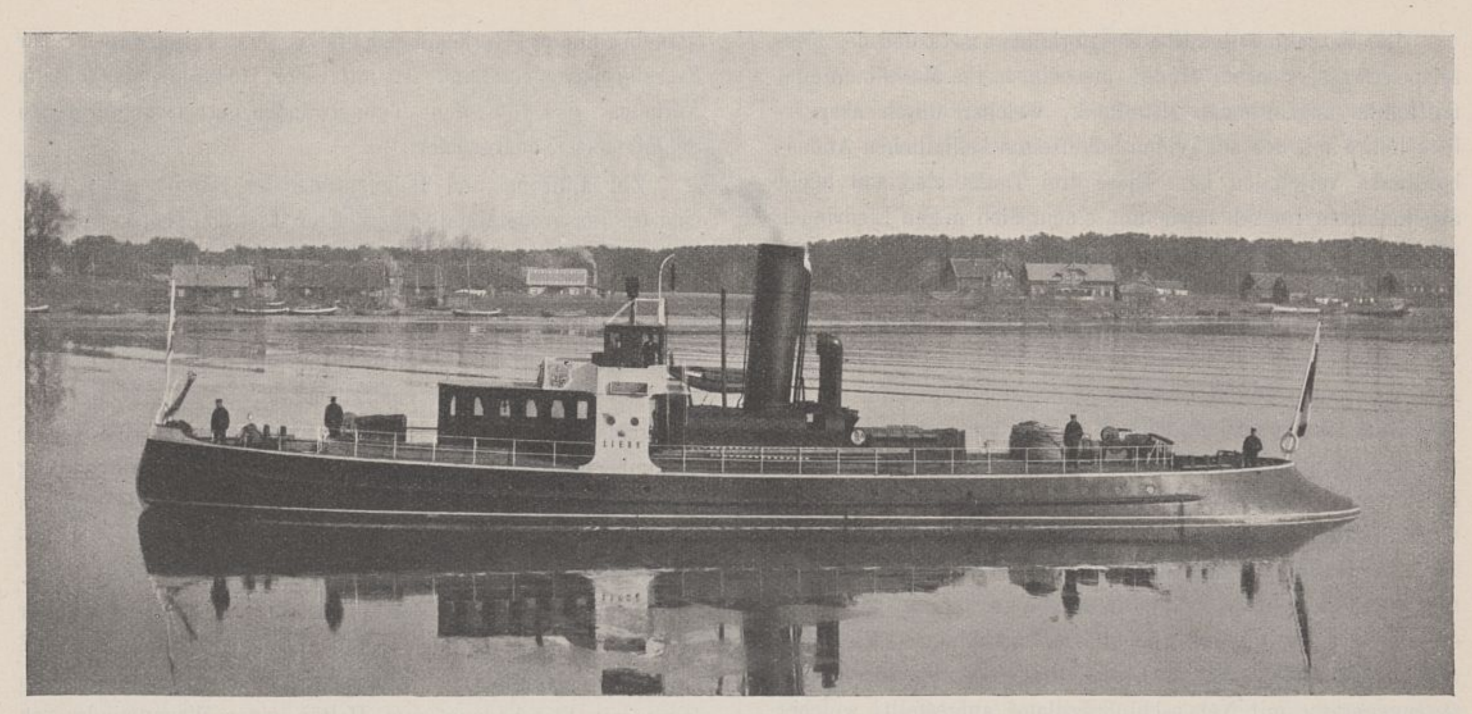


Abb. 1.

Rinne begrenzenden Eisfläche war von vornherein wegen der geringen Heckwelle abgesehen.

Der Eisbrechdampfer „Liebe“ wurde nach den Entwürfen des Verfassers von der Schiffswerft J. W. Klawitter in Danzig zur Ausführung gebracht. Seine Hauptabmessungen sind: Länge über Alles 40,74 m, Länge zwischen den Steven 36,65 m, Breite über den Spanten 8,70 m, Seitenhöhe mittschiffs 2,50 m, Tiefgang mit vollständiger Ausrüstung und 10 t Kohlen in den Bunkern 1,08 m, die Wasserverdrängung beträgt 243 t, die stündliche Fahrgeschwindigkeit in tiefem, stauem Wasser 17,8 km.

Der Schiffskörper ist aus Flußeisen nach den Vorschriften des Germanischen Lloyds für die Klasse $\frac{100 \text{ A. K.}}{4}$ hergestellt, wobei besondere Verstärkungen der Außenhaut, der Spanten, des Kielschweins und der Stringer vorgesehen sind. Die Abmessungen der einzelnen Bauteile sind aus Abb. 5 Bl. 42 zu entnehmen.

Die Einrichtung des Schiffes ist aus den Abb. 1 bis 7 Bl. 42 ersichtlich. Das Vorschiff hat eine zum Auflaufen auf das Eis erfahrungsmäßig günstige Steigung von 1:9 und unter der Kielplatte ein T-förmiges, in Text-Abb. 2 dargestelltes Kielstück, welches als Vordersteven ausläuft und sowohl beim Auflaufen auf das Eis zunächst die Eisdecke bricht, als auch zum Rammen bei Eisverstopfungen dient.

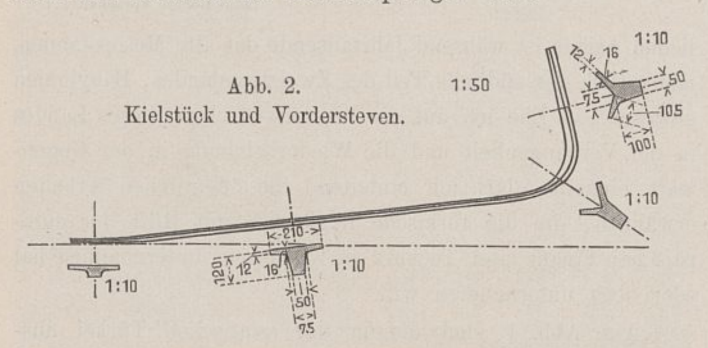


Abb. 2.
Kielstück und Vordersteven.

Um das seitliche Entweichen der beim Auflaufen des Eisbrechdampfers auf das Eis unter das Schiff treibenden Eisschollen zu bewirken und zum guten Fahren und Drehen bei niedrigen Wassertiefen steigt der ganze Schiffsboden nach den Seiten etwas an. Zur Vermeidung eines Festklemmens im Eise ist der Schiffskörper in der Wasserlinie derart gestaltet, daß ein paralleles Mittelschiff vermieden ist. Der Kimmgang steigt zur Erzielung einer guten Steuerfähigkeit nach hinten an und läuft in flach abgerundeter Form um das Heck herum, wo bei normalem Tiefgange noch eine Eintauchung von 50 mm stattfindet. Hierdurch ist erreicht, daß die Außenluft von den Schiffsschrauben ferngehalten und diese auch beim Rückwärtsgange voll zur Wirkung kommen. Das die beiden Schraubentunnel trennende Mittelschiff läuft unten zum Schutze des Steuerruders bis zum Rudersteven weiter und oben, ebenfalls wie das Heck — 50 mm in das Wasser tauchend, am Heck aus, so daß jeder Tunnel in sich abgeschlossen ist.

Die beiden Schraubentunnel liegen wie die Schraubenwellen zur Längsachse des Schiffes etwas geneigt, damit das Wasser sowohl von vorne unter dem Schiffsboden, als auch seitlich zu den Schiffsschrauben besser eintreten kann. Gleichzeitig erhält das Heck eine schlanke gefällige Form in der Wasserlinie. Die Scheitellinie der Schraubentunnel ist so ausgestaltet, daß die Schiffsschrauben die größte Wirkung erzielen und auch bei der größten Fahrgeschwindigkeit das aus den Schiffsschrauben austretende Kielwasser einen Gegendruck an der hinter den Schiffsschrauben befindlichen Tunnelfläche nicht ausübt. Die Gestaltung der Scheitellinie ist auf Grund eingreifender Versuche ermittelt worden.

In jedem Schraubentunnel ist eine kräftige vierflügelige Stahlformguß-Schiffsschraube von 1700 mm Durchmesser, 2300 mm mittlerer Steigung und 80 mm Flügelstärke an der Nabe angeordnet. Die Stevenrohre sind ganz von der Schiffshaut umkleidet und gegen Eindringen von Sand durch Wasserspülung geschützt.

Jede Schiffsschraube wird durch eine stehende dreifache Expansionsmaschine mit gemeinschaftlicher Oberflächenkondensation — auch für Einspritzkondensation eingerichtet — angetrieben. Bei 170 minutlichen Umdrehungen leisten diese Maschinen 220 indizierte Pferdestärken.

Die Entnahme des Kondensatorkühlwassers und des Kesselspeisewassers usw. erfolgt aus einem im Maschinenraum mittschiffs angeordneten Mitteltank, welcher durch absperrbare Rohre mit den auf beiden Schiffseiten befindlichen Außenbordtanks verbunden ist. Diese drei Tanks sind mit leicht abnehmbarem Deckel sowie mit einem Sieb gegen Eindringen von Sand ausgerüstet. In Rücksicht auf das Fahren im Schlammeise und zum Auftauen sind die Außenbordtanks mit Frischdampfheizung versehen; gleichzeitig kann auch das vom Kondensator abgehende Kühlwasser in die seitlichen Außenbordtanks geleitet werden.

Zum Lenzen und Füllen der Ballasträume und zum Deckwaschen dient eine Duplexdampfpumpe für eine stündliche Leistung von 10 cbm, die auch zum Kesselspeisen verwendet werden kann.

Zur Erzeugung des elektrischen Lichtes für die Beleuchtung des Dampfers ist im Maschinenraume eine mit einer stehenden einzylindrigen Auspuffdampfmaschine, welche auch mit Kondensation arbeiten kann, direkt gekuppelter Gleichstromgenerator mit Nebenschlußregulator aufgestellt, welcher bei 630 minutlichen Umdrehungen und 65 Volt 66 Amp erzeugt.

Als Dampferzeuger dienen zwei liegende zylindrische Schiffsdampfkessel mit rückkehrender Flamme von je 60,6 qm wasserberührter Heizfläche, 2,24 qm Rostfläche und 12 Atm. Dampfüberdruck.

Durch sieben wasserdichte Schottwände wird der Dampfer in einzelne Teile geteilt, aus denen in Rücksicht auf den geringen Tiefgang das Bilgewasser vollständig ausgepumpt werden kann. Die Raumeinteilung ist von vorn bis hinten folgende: Wasserballastraum, Kabelgatt, Schiffsführer- und Maschinistenräume, Baubeamtenräume, Geräteraum, Kessel- und Maschinenräume, Mannschaftsräume, Wasserballastraum. Je ein Raum ist vorgesehen für 1 Schiffsführer, für 1 Maschinenmeister, für 1 Hilfsmaschinisten mit 1 Hilfsheizer, für 1 Steuermann mit 1 Hilfssteuermann, für 5 Matrosen und für 5 Heizer.

Der Wasserballast dient zum Lösen des festgefahrenen Eisbrechdampfers. Der hintere Ballastraum an den Schraubentunneln nimmt vorkommendenfalls das Frischwasser zur Kesselspeisung auf und ist mit einer Heizrohrschlange zum Auftauen des an den Tunnelwänden etwa angefrorenen Schlammeises ausgerüstet.

Zur Lüftung und Beleuchtung der Räume unter Deck sind 0,25 m große Metallseitenfenster, Lichtkappen, Petroleumbeleuchtung und elektrische Beleuchtung vorgesehen. Zur Beleuchtung der Strecke dient ein auf dem Steuerhause aufgestellter Scheinwerfer mit geschliffenem Glasparabolspiegel von 35 Amp, der vom Steuermannsstande im Steuerhause aus bedient wird, sowie zur Beleuchtung des Decks und des Anlegeplatzes namentlich beim Kohlennehmen usw. eine Flammbogenlampe von 10 Amp. Als elektrische Beleuchtung unter Deck sind Tantallampen mit Swan-Bajonettfassung an Decken und Wänden angebracht. Die Heizung aller Wohnräume erfolgt durch Dampfheizung und Öfen.

Zum Abschleppen der festgefahrenen Eisbrechdampfer sowie zum Überholen über Sandbänke und Eisstopfungen sind auf dem Vorschiffe eine kräftige Dampfankerwinde und ein Davit mit Flaschenzug zum Halten einer Wagenwinde von 10 t Tragkraft, sowie eine starke Wuchtelade vorhanden.

Die Ausführungskosten des Eisbrechdampfers „Liebe“ betragen für:

das Schiff	130 500 Mark
Geräte	12 400 „
Aushilfs- und Ersatzstücke . .	9 700 „
Gesamtkosten	152 600 Mark.

Über die Bewährung der flachgehenden Eisbrecher Gardenga und Liebe unter den verschiedenen, beim Eisbetrieb vorkommenden Verhältnissen liegen abschließende Erfahrungen noch nicht vor. Dem einen Zweck, tiefergehende Eisbrecher über Flachwasserstellen hinüberzubringen, entsprechen die neuen Dampfer in vollem Maße, dagegen hat sich bei Kerneis von großer Stärke (45 cm und mehr), wie es sich im Winter 1911/12 auf der Weichsel gebildet hatte, ergeben, daß beim eigentlichen Eisbrechbetrieb die Wirkung der Schiffsschrauben durch die in den Tunnel eindringenden Schollen beeinträchtigt wird.

Über die Wasserwirtschaft in Mesopotamien in der Vergangenheit und über ihre Wiederbelebung in der Gegenwart.

Vom Regierungsbaumeister Rudolf Tholens.*)

Seit einer Reihe von Jahren herrscht in der Türkei das Streben und der Wille, die alten Kulturgebiete Kleinasiens und Mesopotamiens aus ihrem langen Schlaf zu erwecken und sie einer neuen Blüte entgegenzuführen. Durch Verbesserung der Verkehrswege sucht man das Land aufzuschließen und durch Bezähmung der Flußläufe und durch Bewässerungsanlagen den Bodenwert des Landes zu heben.

Es ist bei solchen Arbeiten naturgemäß da einzusetzen, wo nach der Überlieferung die reichsten und fruchtbarsten Teile des Landes gelegen haben. Die Kornkammer des westlichen Asiens ist während Jahrtausende das alte Mesopotamien, namentlich der südliche Teil des Zweistromlandes, Babylonien gewesen. — Ehe ich auf die Wasserwirtschaft dieses Landes in der Vergangenheit und die Wiederbelebung in der Gegenwart eingehe, darf ich einleitend die öffentlichen Arbeiten erwähnen, die die türkische Regierung mit Hilfe der europäischen Finanz und Technik in Kleinasien unternommen hat oder noch unternehmen will.

Auf Abb. 1 sind die in der asiatischen Türkei ausgeführten und geplanten Arbeiten dargestellt. Von den Eisenbahnlinien sind die Anatolische Bahn von Konstantinopel (Haidar-Pascha) nach Angora und Konia und der bisher fertiggestellte Teil

*) Vortrag, gehalten im Ministerium der öffentlichen Arbeiten in Berlin.



Abb. 1. Asiatische Türkei.

der Bagdad-Bahn von Konia bis an den Fuß des Taurus im wesentlichen von deutschem Gelde, die Aïdin-Bahn von britischem, die Bahn von Smyrna bis zur Anatolischen Bahn und die Bahnen in Syrien von französischem und endlich die Hedschas-Bahn von Damaskus und Haifa nach Süden von türkischem Gelde gebaut. Die im Bau befindliche Fortsetzung der Bagdad-Bahn und der von einer französischen Gesellschaft unternommene Bahnbau zur Verbindung von Smyrna mit dem Marmara-Meer (Soma-Paderma) sind in der Abbildung 1 gestrichelt dargestellt.

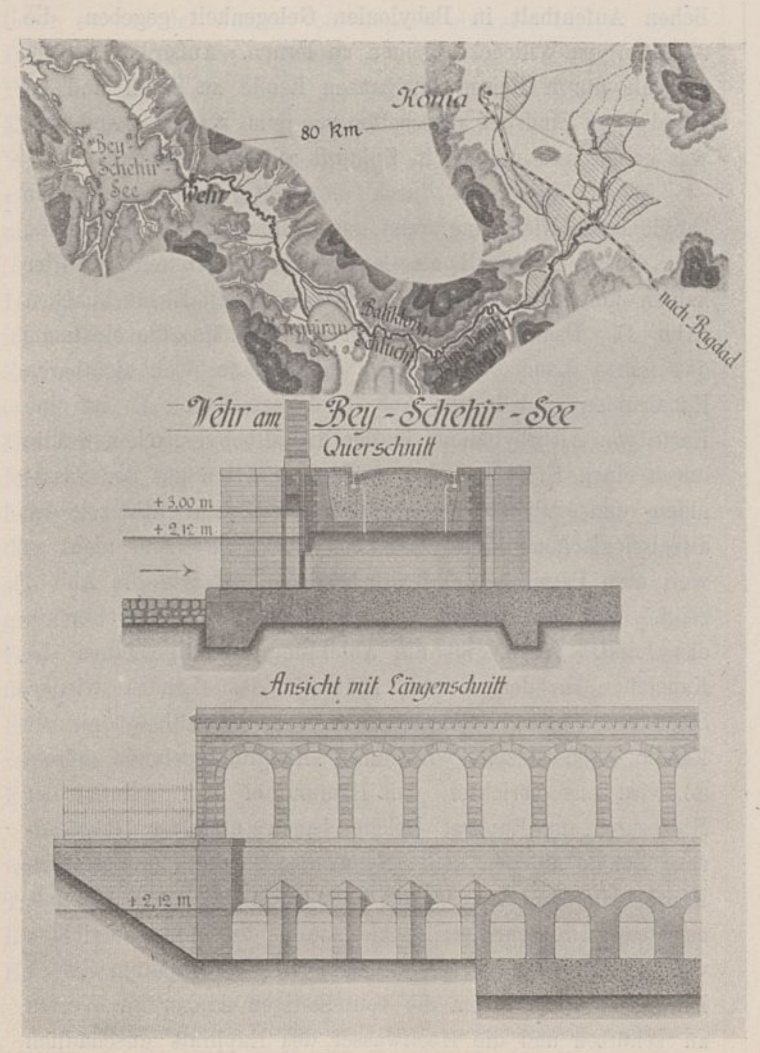


Abb. 2. Bewässerung der Ebene bei Konia.

Die durch Schraffur hervorgehobenen Flächen der Abb. 1 bedeuten die Flußtäler und Ebenen, in welchen Landeskulturarbeiten vorgenommen werden sollen. In der Ausführung sind bisher nur die Arbeiten zur Bewässerung der Ebene von Konia. Die Anatolische Eisenbahngesellschaft hat diese Arbeiten vor einigen Jahren übernommen, und die Baufirma Philipp Holzmann in Frankfurt führt sie aus. In der Abb. 2 ist die Gegend von Konia im größeren Maßstabe dargestellt. Die schraffierte Fläche bezeichnet das zu bewässernde Gebiet, rund 55000 ha. Das nötige Wasser liefert der Beyschehir-See, der durch eine große Wehranlage angestaut werden soll. Dieses Bauwerk, das in Abb. 2 im Querschnitt und in der Ansicht wiedergegeben ist, wurde im letzten Jahre fertiggestellt. Die obere Bogenstellung des Bauwerkes dient nur als architektonisches Beiwerk. Die Türken wünschten diese Verschönerung, um dem ganzen eine seiner Bedeutung entsprechende Wirkung zu geben. Das Wasser vom See wird durch das Wehr an dem Karawiran-See vorbei durch die wilde und romantische Baliklowa und Tscharchamba-Schlucht, durch Bauwerke sorgsam reguliert, der Ebene zugeführt. Der Zweck der Arbeiten, die etwa 16000000 Mark kosten, ist, den Anbau von Getreide, der Hauptfrucht dieser hochgelegenen Gegend, Jahr für Jahr zu ermöglichen. Bisher vertrocknete das Korn in jedem zweiten oder dritten Jahre aus Mangel an Regenfall. Subtropische Pflanzen — wie Baumwolle — können auf der Koniaebene wegen des langen und kalten Winters nicht angebaut werden.

Für die übrigen auf Abb. 1 schraffiert dargestellten Flächen werden zurzeit Vorarbeiten — Entwürfe und Kostenberechnungen — ausgeführt. Die Bearbeitung dieser Vorentwürfe geschieht in der Regel durch Unternehmer, die in den aufzuschließenden Gebieten auch die Ausführung oder den Betrieb von Eisenbahnen oder auch die Herstellung von Landstraßen haben. So werden von einer englischen Gesellschaft die Vorarbeiten für die Bewässerung der Ebene von Aïdin am Maeander-Fluß ausgeführt. Franzosen untersuchen die Wirtschaftlichkeit wassertechnischer Arbeiten in den Flußebenen des alten Hermus nördlich Smyrna, des Kyzyl- und Yechil-Irmak, des alten Halys und Iris, sowie in der Ebene bei Tokat. Auch Entwürfe zur Trockenlegung der Ebene von Antiochien werden von einer französischen Gesellschaft bearbeitet.

Die Anatolische Eisenbahngesellschaft hat die Entwurfbearbeitung für die Bewässerung der Niederung von Adana, der einst so ertragreichen cilicischen Ebene, übernommen. Über die Ausführung der Arbeiten ist die Entscheidung noch nicht gefallen. Wird das Unternehmen ausgeführt, so schafft es ein Kulturwerk ersten Ranges. Durch die drei alten Flüsse, den Kydnus, Sarus und Pyramus können bei Adana und Sis etwa 300000 ha Land bewässert werden. Die klimatischen Verhältnisse der Ebene sind

günstiger als bei Konia. Hier können wie in Ägypten mehrere Fruchtsorten im Jahr — darunter auch Baumwolle — angebaut werden. Dadurch werden diese Bauarbeiten noch wirtschaftlicher sein als die bei Konia. Die Baumwollernte der cilicischen Ebene betrug im letzten Jahre bei günstigem Regenfall etwa 86000 Ballen. Wird in Zukunft nur ein Drittel der zu bewässernden Fläche, also 100000 ha mit Baumwolle bestellt, so kann man hier 250000 Ballen ernten, das Dreifache des jetzigen und etwa ein Sechstel des ägyptischen Ernteertrages. Für die Anatolische und Bagdadbahn sind die Erschließungsarbeiten bei Konia und Adana wegen ihres Einflusses auf den Verkehr von wesentlicher Bedeutung.

I. Der Zustand Babyloniens und seine Wasserwirtschaft in der Vergangenheit.

Folgt man auf der Übersichtskarte Abb. 1 der Linie der Bagdadbahn durch Nordsyrien und Nordmesopotamien, so kommt man am Endpunkt der Linie zu der letzten schraffiert bezeichneten Fläche, dem alten Babylonien, dem heutigen Irak Arabi. Die Grenze zwischen Babylonien und Mesopotamien im engern Sinne liegt etwa in einer Linie von Samarra am Tigris nach Hit am Euphrat. Das Gebiet südlich dieser Linie ist der Gegenstand dieser Abhandlung.

Die hohen Blütezeiten Babyloniens unter Hammurabi vor etwa 4000 Jahren, unter den Chaldäern vor 2500 Jahren und nach Christi unter den Sassaniden im sechsten Jahrhundert und den Abassiden-Khalifen bis ins neunte Jahrhundert hinein sind mit zurückzuführen auf den hohen Stand der Wasserwirtschaft, wodurch allein eine so entwickelte Landwirtschaft entstehen konnte. Auch jetzt kann dem Lande in erster Linie durch Bewässerung geholfen werden. Im Februar letzten Jahres traf ich im Süden des Landes einen Araber, der aus tiefen Löchern in einem ausgetrockneten Flußbett Wasser schöpfte. Ich bat ihn um Wasser für mein Pferd, er sollte Brot dafür haben. „Gib mir“, so sagte er, als er hörte, daß ich Ingenieur sei, „Wasser für meine Äcker,

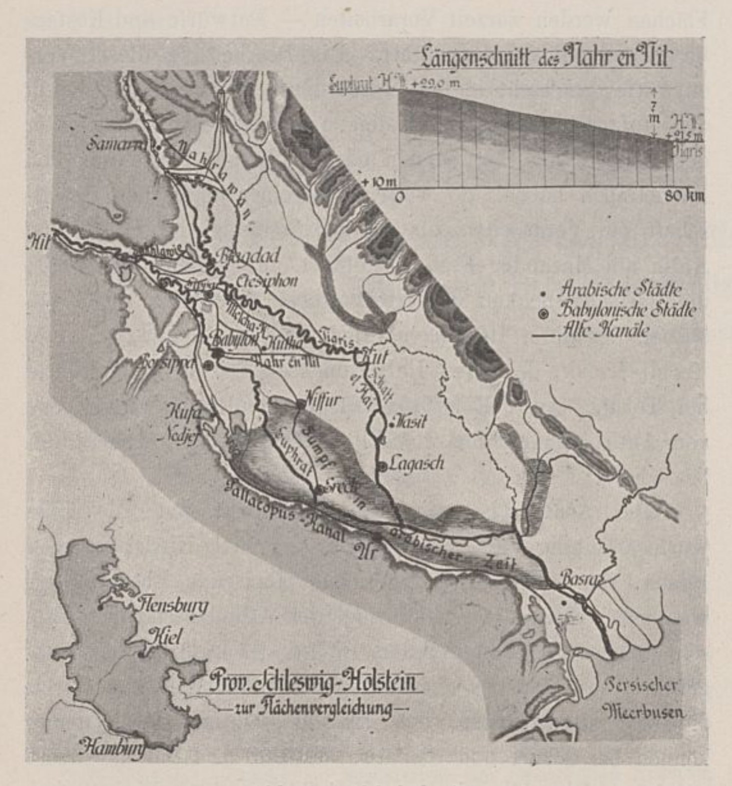


Abb. 3. Altbabylonien.

und Du wirst mir Brot in Hülle und Fülle geben.“ Für mein Pferd aber hatte er kein Wasser, er mußte das wenige für sich behalten. Meine Karawane mußte durstig weiterziehen.

In richtiger Wertschätzung des Wassers für dieses Land hat nun das türkische Arbeitsministerium Pläne durch den englischen Ingenieur Sir William Willcocks ausarbeiten lassen, die die Unterlagen für die Entwicklung des Landes bieten sollen. Willcocks ist drei Jahre lang im Lande tätig gewesen und hat vor einem Jahre etwa seine zweifellos guten Entwürfe — denn im Entwerfen liegt seine Stärke — der türkischen Regierung vorgelegt. Er ist danach aus den türkischen Diensten ausgeschieden. Eine Entscheidung über die Ausführung des großen Unternehmens ist aber bisher noch nicht gefallen.

Die Bewässerungspläne erstrecken sich wie die Karte von Neubabylonien (Abb. 16) zeigt, über das ganze Niederungsgebiet vom Eintritt der Flüsse in das Sawat, „das Land der schwarzen Erde“, bis zum Persischen Golf über ein Gebiet von 600 km Länge. Die Breite des Gebietes zwischen den Strömen wechselt von 30 km an der schmalsten Stelle bis zu 180 km an der breitesten Stelle. Zur Veranschaulichung der Größe des Zweistromlandes ist die Provinz Schleswig-Holstein in gleichem Maßstab in Abb. 3 eingetragen.

Während eines längeren Aufenthaltes in der Türkei, wohin seine Exzellenz der Herr Minister der öffentlichen Arbeiten mich zum Studium der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse entsandt hatte, war mir durch einen sechsmonatlichen Aufenthalt in Babylonien Gelegenheit gegeben, die Arbeiten von Willcocks kennen zu lernen. Außerdem konnte ich mir durch Reisen im ganzen Lande zu Schiff und zu Pferd einen Eindruck verschaffen von dem, was das Land war, was es ist und was es in Zukunft wieder werden kann.

Wenn man jetzt durch die weite, fast ganz flache babylonische Niederung reist, so fallen die vielen Dämme auf, die sich überall als langgestreckte Streifen von der kahlen und von der Sonne weiß gebrannten Ebene abheben (Abb. 4). Das sind die Spuren alter Kanäle, die einstmals das ganze Land bewässerten. Die heute noch sichtbaren Kanalruinen sind in die Abb. 3 eingezeichnet. Es ist eine Karte von Altbabylonien, in der die altbabylonischen Städte durch einen Kreis von den größeren Städten aus der Sassaniden- und Araberzeit unterschieden sind. Zur Blütezeit der altbabylonischen Städte hat sich aber das Land nicht so weit zum Persischen Golf hin ausgedehnt, wie die Abb. 3 zeigt. Der Golf erstreckte sich damals noch weiter in das Land. Auch gibt die Abbildung im allgemeinen die Kanalzüge in der letzten Blütezeit des Landes wieder. Sie liegen aber zweifellos häufig in dem Bett altbabylonischer Kanäle, von denen wir durch Ausgrabungsfunde hören. So wird uns berichtet, daß Hammurabi zum Schutze der Niederung am Euphrat Deiche bauen und zur Bewässerung Kanäle anlegen ließ. Nebukadnezar schuf den Melcha-Kanal, den die Araber später Nahr-el-Malik, den Königsfluß, nannten. Die Schriftsteller Alexanders des Großen berichten vom schiffbaren Pallacopus-Kanal, der den doppelten Zweck hatte, das Land gegen die beutelustigen Araber im Westen zu schützen und die Hochwasser des Euphrats unschädlich abzuführen. Der Pallacopus soll bei Hit vom Euphrat ab-



Abb. 4. Verfallener Kanal mit hohen Seitendämmen.

gezweigt sein und unterhalb Ur in den Persischen Golf gemündet haben, so daß er eine Länge von etwa 600 km gehabt haben muß, d. i. etwa die Entfernung von Berlin nach Aachen. Jetzt, 2200 Jahre später, sind im Euphrattal Bauten im Gange, die mit geringeren Mitteln den gleichen Schutz der Ebene vor Hochwasser bezwecken. Auf diese Arbeiten komme ich später zurück.

Zunächst darf ich die alte Wasserwirtschaft des Landes behandeln. Die Abb. 3 zeigt, daß ein Netz von Kanälen vom Euphrat ausging und zum Tigris oder zu dem Sumpf im Süden führte. Der Nahr-en-Nil, nach dem Nil in Ägypten benannt, ist als Beispiel dieses Netzes in dieser Abbildung auch im Längenschnitt dargestellt. Die Gefällinie gibt die Höhe der jetzigen verschütteten Sohle. Früher lag die Sohle 3 bis 4 m tiefer, so daß das Wasser vom Euphrat eintreten konnte. Das Hochwasser, das im Frühling zur Zeit des Wachstums der Pflanzen herrschte, stand im Euphrat und somit auch im Kanal höher als das Gelände und auch höher als der Tigris. Wasser konnte sonach im Frühling über das ganze Land verteilt werden. Der Kanal mußte aber eingedeicht werden, um die Ernte vor Überschwemmungen zu schützen (Abb. 5).

Der jetzt noch bestehende Hai-Kanal im Süden des Landes floß umgekehrt vom Tigris zum Euphrat. Er war in arabischer und auch schon einmal in altbabylonischer Zeit der Hauptarm des Tigris. In arabischer Zeit mündete er in den großen Sumpf, der in Abb. 3 dargestellt ist.[1]) Der Sumpf entstand im Ausgang der Sassanidenzeit infolge eines Hochwassers im Tigris und bedeckte Jahrhunderte lang den Süden des Landes. Der jetzige Arm des Tigris war damals verschlammt. Solche Flußverlegungen sind in dem weichen Boden Babyloniens nichts Außergewöhnliches gewesen. Oberhalb Bagdad zeigt die dicke Linie den Tigris, wie er bis ins 13. Jahrhundert hinein geflossen ist. Auch der Euphrat hat, wie aus der Überlieferung hervorgeht, häufig sein Bett gewechselt. Er floß zeitweise bei Sippar, zeitweise bei Babylon, zeitweise bei Kufa vorbei.

Die kunstvollste Kanalanlage aus Perser- und Araberzeit war die des Nahrawan-Kanals. Er zweigte vom linken Ufer des Tigris oberhalb Samarra ab und führte, gespeist von einer Reihe Zubringer, bis nach Kut. Seine Länge betrug 320 km. Hohe Wälle bezeugen jetzt seinen einstigen Lauf, und viele Tells, Ruinenhügel, die Städte und Dörfer, die an seinen Ufern lagen. Über den Verfall dieses Kanals berichtet der arabische Geograph Yakut, der im 13. Jahrhundert schrieb, daß der Nahrawan-Kanal in den vorhergehenden zwei Jahrhunderten allmählich aufgeschlammt sei, da die Seldschucken-Sultane zu sehr mit Kriegführen beschäftigt gewesen wären, um an das notwendige Ausgraben und Ausbessern der Kanäle zu denken; „ihre Heere", so sagte er, „haben eine Straße aus dem Kanal gemacht, wodurch Kanal und Gegend jetzt verfallen sind". Mit dem Untergange dieses Kanals setzte der Verfall des Landes ein. Der Mongolensturm um 1200 vollendete das Zerstörungswerk, so daß jetzt von dem entwickelten Kanalnetz und der blühenden Landwirtschaft nur noch Ruinen übrig geblieben sind; das hochliegende Land verwandelte sich in Steppenwüste, das tiefliegende in Sumpf.

Ich darf hier einen Vergleich mit Ägypten einschalten. In Ägypten konnte ein solcher Tiefstand nie eintreten. Der Nil überflutete im Herbst auch bei Verfall der Kanäle immer noch einen Teil seiner Ufer, wo der Fellache nach dem Zurücktreten des Wassers sein Korn säen konnte. Dieses kam während des milden ägyptischen Winters zur Reife, ohne weitere Bewässerungen oder Regen notwendig zu haben. Anders in Babylonien! Die Flüsse hatten Hochwasser im April und Mai. Es folgte nicht ein milder Winter, sondern der heiße subtropische Sommer. Das Getreide mußte zur Reife kommen, während die Flüsse hoch standen. Waren nun keine schützenden Deiche gebaut, so überflutete das Wasser das Land und vernichtete die Ernte. Waren keine Kanäle angelegt, so mußte das Getreide im heißen Sommer aus Mangel an Wasser verdorren. Beides, Dämme und Kanäle waren in Babylonien unbedingt notwendig, wollte man Früchte ernten. Ägypter und Babylonier haben ihre Bewässerungsart der Natur ihrer Ströme angepaßt. Die kunstvolle babylonische Bewässerung aber erforderte mehr Unterhaltung und Wartung als die alte einfache Beckenanlage Ägyptens. Als die Wartung und Pflege in Kriegszeiten aufhörte, ist Babylonien verfallen.



Abb. 5. Noch unterhaltener Parallelkanal zum alten Nahr-en-Nil bei Babylon.

1) In Abb. 3 sind die Flußläufe auch im Sumpfgebiet voll ausgezogen, da die Karte nicht eine engbegrenzte Zeit in der alten Geschichte des Landes wiedergeben soll.

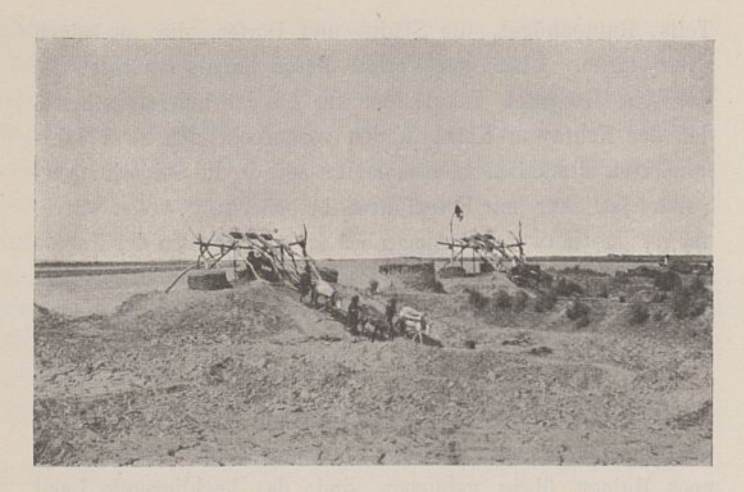


Abb. 6. Wasserhebevorrichtungen (Tscherds) am Euphrat.



Abb. 7. Wasserhebevorrichtung am Tigris (außer Gebrauch).

Die Weissagung Jesajas trat ein; Babel, das schönste unter den Königreichen, die herrliche Pracht der Chaldäer, ist vernichtet worden.

II. Der gegenwärtige Zustand des Landes.

Der heutige Reisende trifft von den großen Städten, den reichen Getreidefeldern und ausgedehnten Palmenwaldungen, über die griechische, römische und arabische Schriftsteller zu den Blütezeiten des Landes so viel Rühmliches berichtet haben, nur noch sehr wenig an. Die weite Ebene von Ramadi und Beled stromabwärts ist größtenteils nackt und kahl; der fruchtbare Marschboden ist von der Sonne weiß gebrannt. Die Pflanzen, die vielerorts nach dem Winterregen im Frühjahr aufschießen und den Boden mit einem Blumenteppich bedecken, verdorren unter den Strahlen der Sommersonne wieder schnell (Abb. 8). Auf große Strecken ist das Land auch mit einem niedrigen Dorngestrüpp, einer Akazienart, bedeckt. Ein schwer zu durchdringendes Buschwerk, darunter das bekannte Süßholz, wuchert in der Nähe der Flüsse. Im Süden liegen die Sümpfe mit ihrem hohen Schilf und Rohr. Baumwuchs gibt es sehr wenig. An den Ufern des Euphrats findet man vereinzelt Pappeln, Weiden und einige andere Laubhölzer. Die Tigrisufer sind fast ganz kahl. Nur die Palme wird in der Nähe der Städte und Dörfer, wo Wasser vorhanden ist, angepflanzt. Im Süden, am wasserreichen Schatt-el-Arab, wird sie im großen kultiviert. Ein Waldstreifen von 2 km Breite zieht sich auf beiden Ufern des Schatt-el-Arab hin (Abb. 17). Die Flut bringt Wasser in die vielen kleinen, vom Strome abzweigenden Gräben, und die Ebbe entwässert sie. „Die Füße im Wasser und den Kopf im Feuer", wie ein arabisches Sprichwort fordert, bringen die Bäume hier eine ausgezeichnete Frucht hervor. Für dieses Land ist die Palme der wirkliche „Baum des Lebens". Er gibt seine Frucht als Nahrung, sein Holz zum Bauen und seine Blätter, damit alle möglichen Gegenstände daraus angefertigt werden, vom Korb und Bett bis zum einfachen Fahrzeug, der Guffa (Abb. 22). Unter den Palmen wachsen Apfelsinen, Orangen, Zitronen und Weintrauben, aber auch Klee oder Gerste, so daß diese Strecken die einstige sprichwörtliche Fruchtbarkeit des Landes ins Gedächtnis zurückrufen.

Der Anbau von Getreide und Feldfrüchten ist jetzt auf die Ufer und Ströme, oder auf die wenigen Stellen im Innern, wo Kanäle noch Wasser hinbringen, beschränkt. Gut bebaute Strecken liegen noch am Euphrat zwischen Ramadi und Feludja, in der Gegend des Hindie-Armes, namentlich aber im obern Gebiet der Dyala (Abb. 11). An den Ufern der Ströme liegt das Land meistens so hoch, daß Wasser mit natürlicher Vorflut nicht hingebracht werden kann. Hier wendet der Araber Hebevorrichtungen, sogenannte Tscherds an, die zweifellos schon seit Jahrtausenden im Lande üblich gewesen sind (Abb. 6 und 7). Das Wasser wird in Ledersäcken durch Kühe oder Pferde, die eine schräge Ebene hinablaufen, gehoben und in Gräben über das Land verteilt. Die Einrichtung ist natürlich nicht sehr wirkungsvoll und wird jetzt immer mehr durch Dampfpumpen ersetzt. Am obern Lauf der Ströme sind Wasserräder zum Heben des Wassers im Gebrauch (Abb. 9).

Die drückende Landsteuer, die noch vielerorts herrschende Unsicherheit und namentlich die häufigen Überschwemmungen haben den Ackerbauer veranlaßt, nur noch das für ihn notwendigste Land anzubauen. Von dem 5000000 ha großen Niederungsgebiet der beiden Ströme werden jetzt nicht viel mehr wie 200000 ha, d. i. etwa $^1/_{25}$ des Landes, jährlich bestellt.



Abb. 8. Die Steppe bei Babylon.

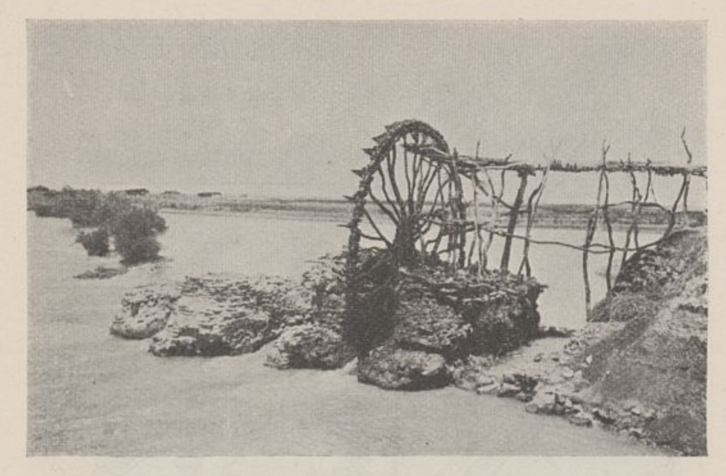


Abb. 9. Wasserrad am Chabur.



Abb. 10. Überschwemmung bei Bagdad.

III. Mittel und Wege zur Wiederbelebung der Landwirtschaft.

Viel könnte zur Neubelebung des Ackerbaues geschehen durch die Sicherung des tiefliegenden Landes gegen Hochwasser, das jetzt jedes zweite bis dritte Jahr einen großen Teil der Ernte vernichtet. Die Flüsse haben auf große Längen überhaupt keine Deiche. An anderen Stellen sind zwar Deiche vorhanden; sie sind aber so schlecht angelegt, unterhalten und überwacht, daß sie von jedem höheren Hochwasser durchbrochen werden. Im letzten Jahre, wo das Hochwasser etwa vier Wochen lang über Mittel stand, ist die ganze Ernte im Euphrattal unterhalb Ramadis vernichtet worden. Am Tigris sind die Deiche oberhalb Bagdads auf beiden Flußufern gebrochen. Bagdad selbst war auf allen Seiten von Wasser umgeben. Der Verkehr nach der Stadt konnte nur durch Boote aufrecht erhalten werden (Abb. 10). Dabei hat dieses Überschwemmungswasser keinen Abfluß und steht monatelang vor den Toren der Stadt, eine Brutstätte für Moskitos und die Ursache vieler Krankheiten.

Der bei Bagdad mächtige Tigris schrumpft unterhalb Kut zu einer schmalen Rinne zusammen. Er verliert sein ganzes Wasser durch Abfluß in die Sümpfe im Süden, die durch das Fehlen der Deiche und die vielen Kanäle ohne Regelungsbauwerke in dieser großen Ausdehnung entstehen konnten. Die drei Querschnitte der Abb. 16 zeigen, daß dieser Strom nach seiner Mündung hin immer schmaler wird. Zwischen Bagdad und Kut ist er 600 m breit, bei Amara 295 m und bei Esras Grab, an seiner schmalsten Stelle, hat er nur noch 62 m. Von hier nimmt er durch Zurückfließen des Wassers aus den Sümpfen allmählich wieder zu; aber erst nach Aufnahme der beiden Euphrat-Arme ist er wieder ein mächtiger, bei Basra bis 10 m tiefer Strom (Abb. 18).

Eins der ersten Erfordernisse zur Entwicklung und geldwirtschaftlichen Kräftigung des Landes ist der Hochwasserschutz, der durch Anlage von Hochwasser-Entlastungsbecken und durch richtig angelegte, standfeste Deiche parallel den Flußläufen zu erreichen ist. Für den Euphrat sind solche Arbeiten seit einem Jahre im Gange. Bis vor etwa vierzig Jahren hatte der Sakhlawie, der mehr die Beschaffenheit eines Flusses als eines Kanals hat, ein Fünftel der Hochwassermenge des Euphrats nach dem Tigris bei Bagdad geführt (Abb. 13). Willcocks hält den Sakhlawie für einen der vier Paradiesflüsse, für den Hiddekel, der, wie es in der Genesis heißt, „vor Assyrien fließt“, also Babylonien und Assyrien trennt. In den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts ließ Midhat Pascha, Generalgouverneur von Bagdad, den Sakhlawie an der Abzweigungsstelle zuschütten, um Bagdad von Hoch-



Abb. 11. Bewässertes Land.



Abb. 12. Landschaft am Tigris.

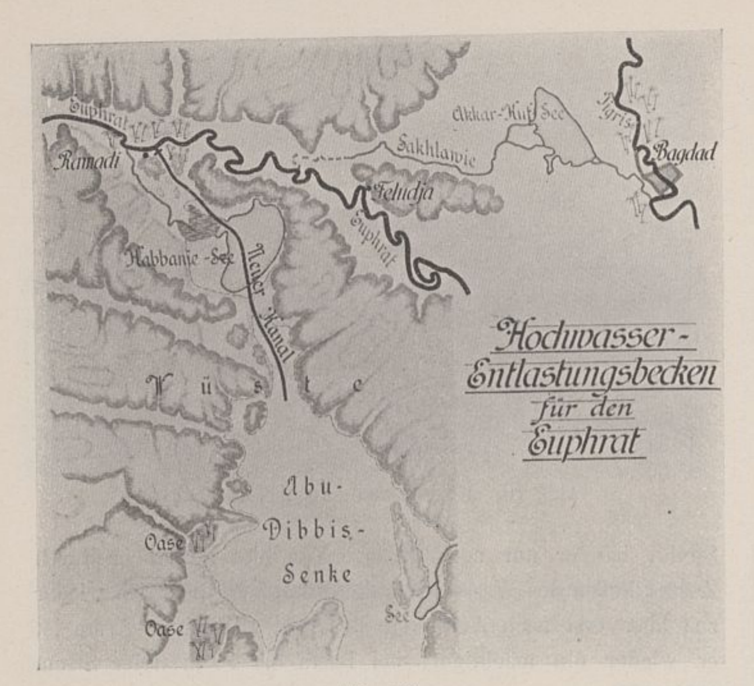


Abb. 13.

wassergefahren zu befreien. Das wurde erreicht, aber die Gefahren für die Euphratebene wurden vergrößert; und in der Tat ist ein großer Teil der Ebene unterhalb Feludjas durch die fast jährlichen Hochwasser verwüstet worden. Um diese fruchtbaren Flächen für die Kultur zurückzugewinnen, soll jetzt auf Vorschlag von Willcocks der schädliche Teil des Euphrathochwassers in die Senke im Süden von Ramadi, die fast 100000 ha groß ist, geführt werden. Diese steht mit der Euphratebene durch drei Einschnitte in Verbindung. Die israelitische Überlieferung legt nach hier die „Tore des Paradieses". Durch das oberste Tor fließt noch jetzt

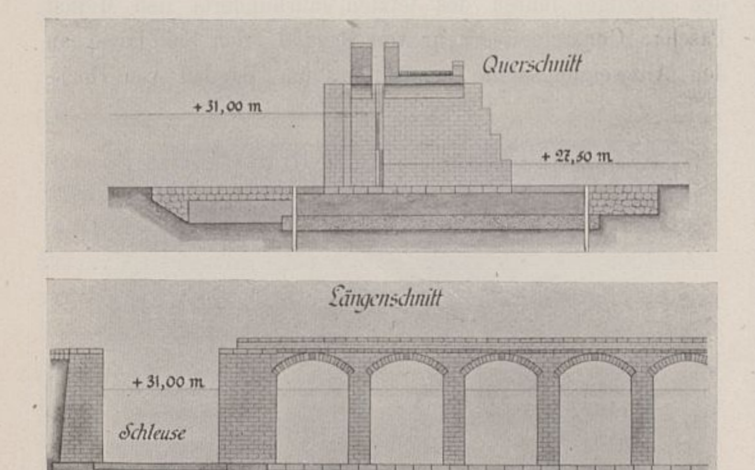


Abb. 14. Neues Schützenwehr.

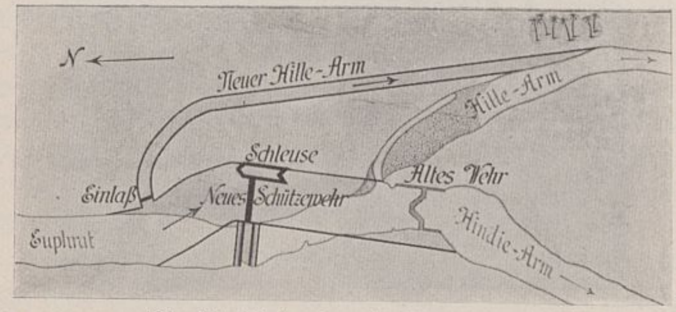


Abb. 15. Wehranlage im Hindie-Lauf.

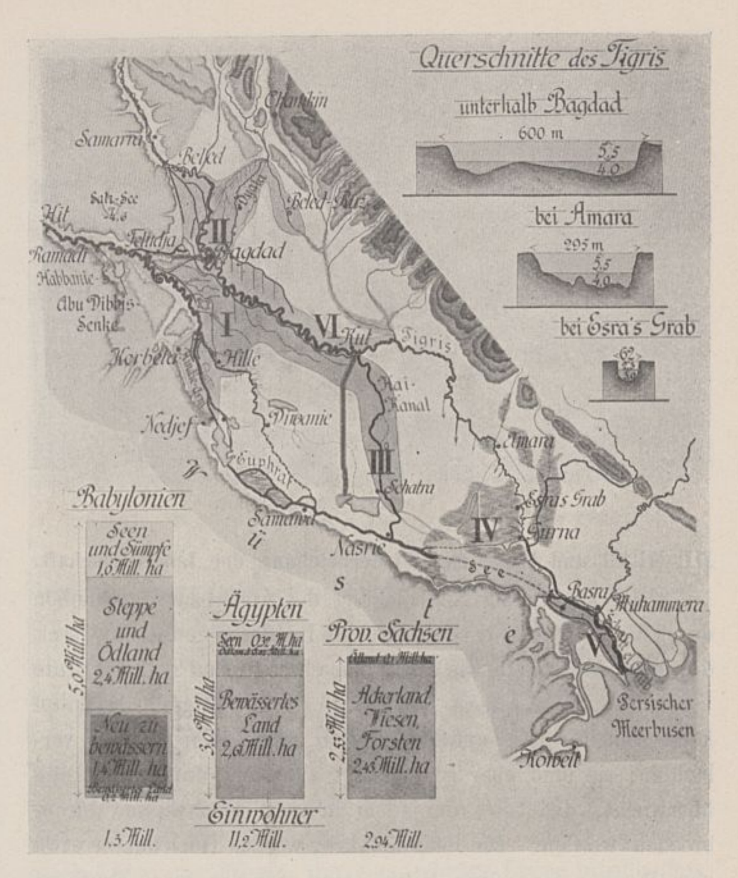


Abb. 16. Neubabylonien (Irak Arabi).

ein kleiner Fluß in den Habbanie-See, den Willcocks für den Pison der Genesis hält. Durch das zweite Tor wird der neue Kanal gegraben, der den schädlichen Teil des Euphrathochwassers in den Habbanie-See und von hier in die Abu-Dibbis-Senke führen soll.

Das Wasser verdunstet in dem großen Becken im Laufe des Sommers schnell, so daß die Senke im nächsten Jahre wieder neue Mengen aufnehmen kann. Nach Verlauf von Jahren wird sich das Becken durch den fruchtbaren Flußschlamm aufgehöht haben. Die Senke wird dann durch den Euphrat das geworden sein, was das Fayum zur Zeit der Pharaonen durch den Nil wurde, eine neue fruchtbare Provinz. Für den Hochwasserschutz der Niederung wird man neue Wege finden.

Hand in Hand mit diesen Arbeiten geht der Bau einer großen neuen Wehranlage im Hindie-Arm des Euphrats. Sie hat den Zweck, dem alten Euphrat, an dem Babylon, Hille und Diwanie liegen, wieder Wasser zuzuführen. Seit etwa vierzig Jahren, also seit Schließen des Sakhlawie-Kanals, hat sich der Strom fast ganz in den Hindie-Arm, einen alten Kanal des Euphrats, verlegt, so daß der Hille-Arm während des größten Teiles des Jahres trocken ist und nur im Frühling in seinem obern Teil noch Wasser führt (Abb. 20). Die Landwirtschaft unterhalb Hille verfiel, Städte und Dörfer verödeten, da die Bewohner gezwungen waren, abzuwandern. Der Kampf gegen diese Stromverlegung mit Hilfe einer kleineren Wehranlage, der seit vierzig Jahren geführt wurde, war erfolglos, da das Wehr wegen schlechter Unterhaltung immer wieder verfiel. Auf den Vorschlag von Willcocks ist seit einem Jahre oberhalb des alten Stauwerkes die große neue Wehranlage (vgl. Abb. 15) im Bau, die den Wasserspiegel um 3,5 m heben soll. Sie wird zweifellos helfen, wenn die im Gange befindlichen Bauarbeiten zu Ende geführt

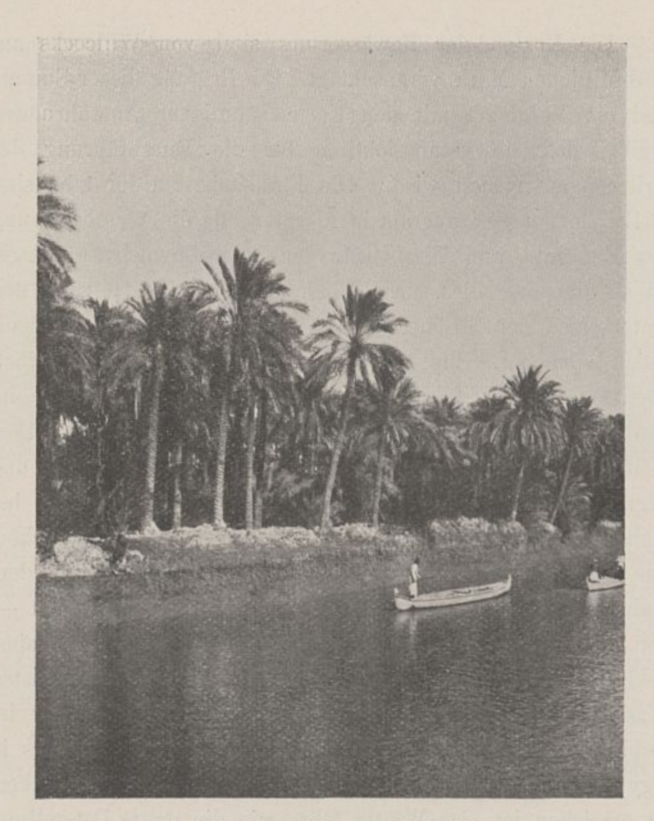


Abb. 17. Der Palmenwald bei Basra.



Abb. 18. Die Reede von Basra.

werden. Das neue Wehr wird im Trockenen am linken Ufer des Euphrats gebaut. Nach Herstellung wird der jetzige Euphratarm zugeschüttet und das Wasser durch das Wehr geleitet. Oberhalb dieses Wehres zweigt durch ein Einlaßbauwerk ein neuer Kanal ab, der Wasser während des ganzen Jahres in den Hille-Arm bringen soll.

Das neue Wehr für den Euphrat, wie es von Willcocks zunächst entworfen war, ist in Abb. 14 dargestellt. Während der Ausführung zeigte sich aber die Notwendigkeit, erhebliche Abänderungen an diesem Entwurf vorzunehmen, die namentlich bedingt waren durch die schlechte und wenig zuverlässige Beschaffenheit des alten Wehres. Willcocks beabsichtigte nämlich zunächst, das alte Wehr als Unterwehr für die Stauanlage mitzubenutzen, und versuchte, es wieder herzustellen. Es ist ihm aber während der Ausführung zur Hochwasserzeit zweimal durchbrochen. Als vor einem Jahre etwa nach umfangreichen Arbeiten das alte Wehr endlich planmäßig hergestellt war, zeigte sich, daß unterhalb des Wehres so große Auskolkungen im Flußbett entstanden waren, daß ständig ein Einfallen der ganzen Wehranlage zu befürchten war. Willcocks, der die Gefahr kannte, hat daher, ehe er Bagdad verließ, vorgeschlagen, auf die Unterstützung der alten Wehranlage zu verzichten und empfahl, das neue im Bau befindliche Wehr mit einem langen Sturzbett und einem Unterwehr auszustatten. Die Bauarbeiten werden jetzt nach diesem Vorschlage von einer englischen Unternehmerfirma, Sir John Jackson, für Rechnung des türkischen Staates ausgeführt. Sie sind hoffentlich der Vorläufer für das große Werk der Wiederbelebung des alten Chaldäa.

Der Grundgedanke von Willcocks, des geistvollen Leiters der Entwurfsarbeiten für die Bewässerung Babyloniens, ist, im wesentlichen die alten Kanäle des Landes wiederherzustellen. Auch der heutige Ingenieur kann in diesem Lande nichts Besseres tun, als den Spuren der Alten zu folgen. In die Karte von Neubabylonien (Abb. 16) sind die geplanten Kanäle eingetragen. Sie liegen fast alle im Bett oder neben alten Kanälen. Einen Schritt aber wird der heutige Ingenieur weiter gehen und zwar durch den Bau von Stauanlagen im Fluß. Durch ein Heben des Wasserspiegels der Flüsse um einige Meter wird er erreichen, daß nicht allein wie früher den Äckern während dreier Monate beim Hochstand der Flüsse Wasser gegeben wird, sondern während des ganzen Jahres, namentlich während des heißen Sommers. Statt der einen Frucht der Alten können dann zwei Fruchtsorten im Jahr, darunter die hochwertige Baumwolle, angebaut werden. Es wird dadurch aus der sonneverbrannten Steppe ein Land geschaffen, das sich ebenbürtig Ägypten an die Seite stellen kann.

Die Bewässerungspläne sind für sechs verschiedene Landgebiete aufgestellt, die in Abb. 16 durch römische Zahlen hervorgehoben sind. Es sind dieselben Flächen, die früher schon einmal künstlich bewässert waren. Es ist natürlich, daß man bei dem Tiefstand Babyloniens das ganze Land nicht auf einmal in Kultur nehmen kann. Die Entwürfe lassen ein allmähliches, schrittweises Ausbauen des Bewässerungsnetzes zu. Man muß beginnen mit den Flächen, die in bewohnten Gebieten, in der Nähe größerer Städte oder nicht weit ab vom Fluß liegen. Auch muß die erste Anlage möglichst billig sein, so daß großer Nutzen zu erwarten ist. Nach diesen Gesichtspunkten sind die Pläne nachfolgend aufgezählt.

An der Spitze steht die Bewässerung des Landes zwischen den beiden Strömen vom Sakhlawie-Kanal im Norden bis südlich Hille am Euphrat und Kut am Tigris. Bei Feludja soll der Strom durch eine Wehranlage um 3 m gehoben werden. Oberhalb sollen zwei Kanäle abzweigen, die mit ihren Seitenkanälen das sassanidische und altarabische Bewässerungsnetz wiederherstellen werden. Das überflüssige Wasser fließt zum Süden. Um dieses Drainwasser vom Gebiet des Hai-Kanals fern zu halten, ist ein starker Damm geplant, der von Kut

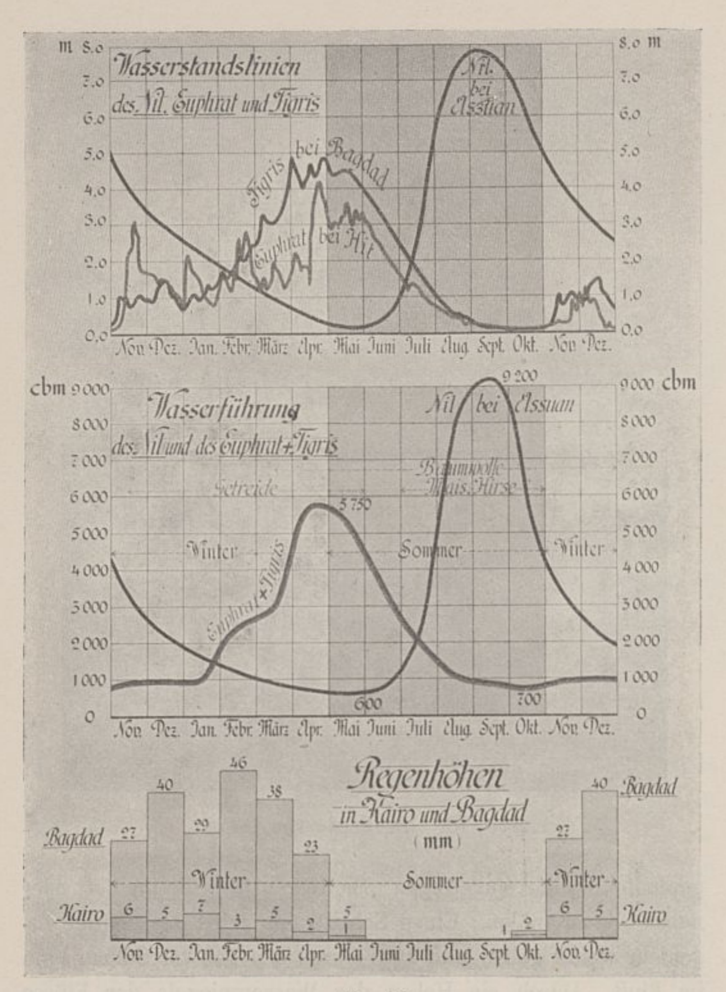


Abb. 19.

etwa zu dem Trümmerhügel Warka, der alten Stadt Erech, führen soll. Über die Ausführung dieses Planes schweben jetzt schon Verhandlungen zwischen der türkischen Regierung und drei englischen Baufirmen.

Ein zweites lohnendes Bewässerungsgebiet liegt am Tigris zwischen Beled und Bagdad. Das Gebiet wird in wenigen Jahren von der Bagdadbahn durchschnitten und hat dadurch Anspruch auf baldige Neubelebung.

Der dritte Plan betrifft die Wiederbewässerung des Landes zu beiden Seiten des Hai-Kanals. Der Hai-Kanal führt jetzt nur im Frühling Wasser. Durch eine Wehranlage bei Kut im Tigris soll der Wasserspiegel des Flusses so weit gehoben werden, daß der Hai wieder im ganzen Jahre Wasser hat.

Für den südlichen Teil von Babylonien wird vorgeschlagen, einen Teil des ausgedehnten Sumpfgebietes (Fläche IV in Abb. 16) am unteren Euphrat einzupoldern und durch Pumpenanlagen zu entwässern; ferner das Land von Basra bis zum Persischen Golf (Fläche V) durch ein Stauwerk im Euphrat wieder mit Wasser zu versorgen.

Das letzte zu bewässernde Gebiet endlich (Fläche VI) liegt am linken Ufer des Tigris, am alten Nahrawan-Kanal. Durch Benutzung des Wassers aus dem Dyala soll auch diese Gegend wieder erschlossen werden.

Die Entwürfe umfassen zusammen eine Fläche von 1,4 Millionen Hektar. Das ist wohl die Grenze, bis zu der man in einer nahen Zukunft mit der Erschließung gehen kann. Anbaufähig wird fast das ganze Land, Sumpf und Steppe, zwischen der Wüste im Westen und den persischen Bergen im Osten sein.

Die Kosten der Bewässerung sind von Willcocks auf 550 Millionen Mark veranschlagt. Die Prüfung dieser Summe und ein Vergleich mit den Kosten ähnlicher Ausführungen ergibt, daß sie voraussichtlich für die Durchführung der Arbeiten ausreichen wird. Die Einheitskosten für 1 ha sind in Babylonien geringer als in Ägypten, da die Wasserführung des Euphrats und Tigris für den Pflanzenwuchs günstiger ist als die des Niles. Ein Blick auf die Abb. 19 zeigt den Unterschied der Ströme. Die oberste Darstellung gibt Pegellinien vom Nil, Euphrat und Tigris. Der Nil hat seinen höchsten Stand im Herbst, der Euphrat und Tigris im Frühling. Die Wasserführung ist, wie die zweite Darstellung zeigt, beim Nil am kleinsten, bei Euphrat und Tigris am größten im Frühling, wenn das ganze Land bestellt ist und die Pflanzen am meisten Wasser gebrauchen. Die Winterfrucht steht von November bis Mai auf dem Halm und die Sommerfrucht — Baumwolle oder Sesam — von März bis Dezember. Im März, April und Mai haben beide Fruchtgattungen, besonders Baumwolle, am meisten Wasser nötig; das ist gerade zur Zeit der Hochwasser im Euphrat und Tigris. Die Natur gibt in Babylonien, was in Ägypten nur durch teure Anlagen, wie das Assuan-Becken, zu erreichen ist. Im Winter fällt, wie die dritte Darstellung zeigt, in Bagdad mehr Regen als in Kairo und genügend, um das Winterkorn bis zum März zu bewässern. Der Sommer ist in beiden Ländern regenlos.

Die Wärmeverhältnisse sind im Zweistromland ähnlich wie in Ägypten. Die Schwankungen zwischen Sommer und Winter, Nacht und Tag sind aber in Babylonien etwas größer. Im Winter friert es in Bagdad zuweilen bis zu 5° C, und im Sommer steigt die Wärme im Schatten bis zu 49° C. In Kairo friert es im allgemeinen im Winter nicht, und die Hitze steigt selten über 42° C. Die Kälte Babyloniens im Winter benachteiligt das Wachsen der Pflanzen im Januar und Februar. Durch das üppige Gedeihen im März und April wird dies wieder ausgeglichen, so daß die Getreideernte in Ägypten und Babylonien fast gleichzeitig eintritt.

Die Darstellung unten links auf der Abb. 16 zeigt die Größe von Babylonien, Ägypten und — als Maßstab — auch die der Provinz Sachsen. Aus der verschiedenen Bezeichnung der Flächen geht der Umfang des bewässerten (bebauten) Lan-



Abb. 20. Der Hille-Arm des Euphrats bei Babylon zur Hochwasserzeit.



Abb. 21. Bagdad bei Hochwasser.

des, sowie der Umfang der Ödländereien, der Seen und Sümpfe hervor. Unter der Abbildung stehen die Bevölkerungszahlen: 1,5 Millionen für Babylonien, 11,2 Millionen für Ägypten und etwa 3,0 Millionen für Sachsen. Der Vergleich zeigt, wie weit Babylonien hinter Ägypten zurückgeblieben ist.

IV. Schwierigkeiten bei der Durchführung des Unternehmens und die Möglichkeit ihrer Überwindung.

Die Schwierigkeiten der Wiedererschließung Babyloniens liegen: 1. in der Aufbringung der Geldmittel für die Ausführung der Bauanlagen, 2. in der geringen Bevölkerungszahl und 3. in den bisher schlechten Verkehrsverbindungen in und nach dem Lande.

Sie sind zu überwinden durch einen langsamen, allmählichen Ausbau des Landes. Die Beschaffung der Geldmittel für die Ausführung dieser großen Bauten kann vorläufig wohl nur durch fremde Interessengruppen und die Ausführung selbst nur durch fremde Bauunternehmungen erfolgen, da die Türkei zurzeit noch nicht über die geeigneten Hilfskräfte und das erforderliche Geld verfügt. Da die einzelnen Bewässerungsabschnitte vollständig unabhängig voneinander auszuführen und zu betreiben sind, so können verschiedene Gruppen aus verschiedenen Staaten sich an der Wiedererschließung des Landes beteiligen. Sache der türkischen Regierung ist es, durch Stellung von Sicherheiten und nicht zu schroffen Bedingungen dafür zu sorgen, daß für Großunternehmungen genügender Anreiz zur Übernahme der Arbeiten bleibt.

Die zweite Erschwernis zur Wiedererschließung des Landes ist der Mangel an Bevölkerung. Babylonien soll zur Sassaniden- und Araberzeit 24 Mill. Einwohner gehabt haben, während es jetzt, wie angegeben, auf 1,5 Millionen geschätzt wird. Unter den Sassaniden sollen sich die Steuereinnahmen bis auf 120 Mill. Mark belaufen haben. Eine Bevölkerungszahl, die fähig ist, solche Summen aufzubringen, kann erst wieder durch Beruhigung der in Fehde lebenden Beduinenstämme und durch die Hebung des Wohlstandes im Lande geschaffen werden. Ich glaube, es war Ibrahim Pascha von Ägypten, der sagte, daß der, welcher die Wasserverteilung in einem Lande beherrscht, auch das Land selbst beherrscht. Das ist für Mesopotamien ebenso richtig, wie für Ägypten. Auf die Beherrschung des Wassers in Babylonien wird das Seßhaftwerden der Beduinen und dann auch zweifellos der Wohlstand folgen. Im Villayet Bagdad leben zurzeit 850000 Menschen. Verteilt man diese auf die Flächen, die jetzt bewirtschaftet werden oder in einer nahen Zukunft bewirtschaftet werden können, also etwa auf die dunkle, umränderte Fläche der Abb. 16 bis zum Anfang des Haikanals — eine Fläche, die etwas über 1 Mill. Hektar groß ist — so kommen auf 1 qkm 75 bis 80 Einwohner. In unseren östlichen Provinzen, Ost-, Westpreußen und Posen kommen auf 1 qkm 64 Einwohner, in der fruchtbaren und dichtbevölkerten Provinz Sachsen 120 Einwohner. Dieser Ver-

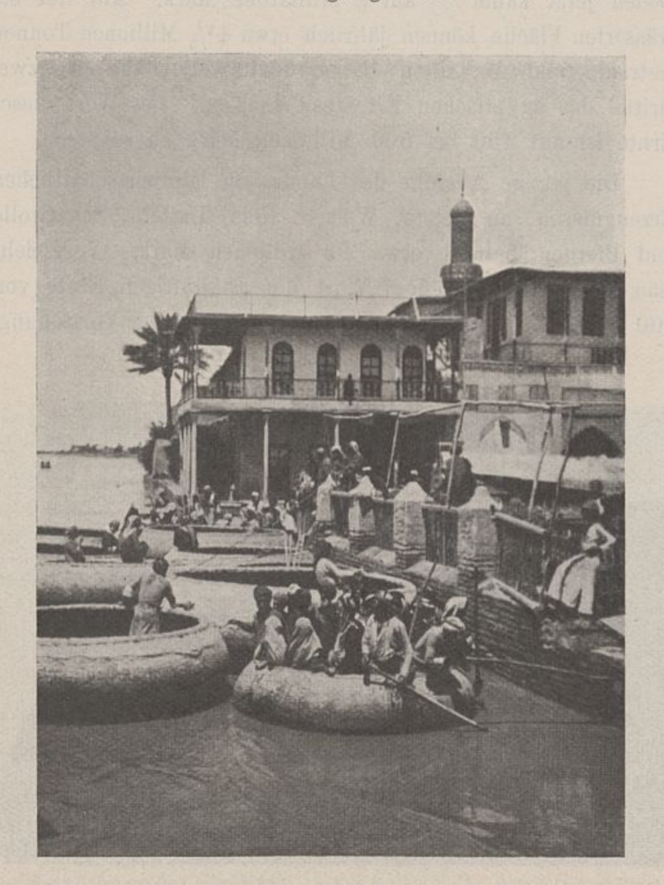


Abb. 22. Guffas (Fährbote) in Bagdad.

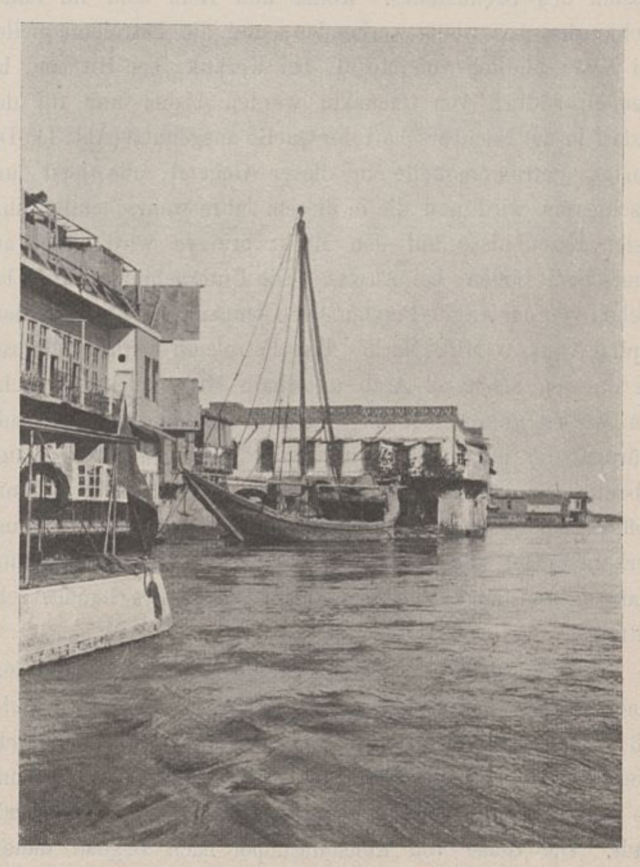


Abb. 23. Ufer von Bagdad bei Hochwasser.



Abb. 24. Der Tigris bei Mosul.

gleich zeigt, daß die Bevölkerungsdichtigkeit Babyloniens eine Erschließung wohl ermöglicht, wenn man sich zunächst eine gewisse Beschränkung auferlegt und mit Bewässerungsanlagen nicht über den bezeichneten Rahmen hinausgeht. Außerdem würde es sich empfehlen, für die ersten Jahre den im Lande üblichen Anbau von Getreide, Mais, Hirse und ähnlichen Früchten, die wenig Arbeitskräfte und keiner weiteren Erziehung der Fellachen bedürfen, zu betreiben. Erst nach besserer Ausbildung und nach Anwachsen der Bevölkerung wird man zur intensiven Bodenbewirtschaftung wie in Ägypten und zum Anbau von Baumwolle im großen übergehen können.

Kleinere Anlagen, die sich auf die Bewässerung von 10 000 bis 30 000 ha beschränken, werden naturgemäß bei günstiger Lage schneller zur intensiven Bewirtschaftung übergeführt werden können. Solche Flächen werden im allgemeinen durch Pumpwerke bewässert werden müssen. Ungünstig für den Irak sind bei solchen Anlagen die hohen Kosten des Brennstoffes. Kohle und Holz sind im Lande nicht oder nur wenig vorhanden, und die Petroleumquellen bei Kiara südlich von Mosul, bei Kerkuk, bei Hit und bei Mendeli südlich von Chanekin werden bisher nur für den Bedarf in der Nachbarschaft der Quelle ausgenutzt (Abb. 1). Die einzige Petroleumquelle in dieser Gegend, die jetzt aufgeschlossen wird und die in diesem Jahre wahrscheinlich ihre ersten Erzeugnisse auf den Markt bringen wird, liegt auf persischem Boden, bei Ahwas. Die Unternehmung wird betrieben von der Anglo-Persian-Oil-Company mit einem Aktienkapital von 40 Mill. Mark. Das Petroleum wird in Rohren bis an den Schatt-el-Arab unterhalb Muhammera gebracht, von wo es unmittelbar in Seeschiffe gepumpt werden soll. Würden die auf türkischem Gebiet liegenden Quellen ausgebeutet, so könnten sie dem Lande den fehlenden Brennstoff geben. Für die Landwirtschaft und den Betrieb neuer Verkehrsmittel könnte das Petroleum eine große Bedeutung erlangen und zur schnelleren Entwicklung des Landes sehr beitragen.

Die schlechten Verkehrsverbindungen in und nach dem Lande haben drittens einen großen Anteil an der Schuld, daß Babylonien sich seit der Tataren- und Mongolenzeit nicht wieder erholt hat. Bagdad, der Mittelpunkt der Verwaltung des Landes, ist bis auf den heutigen Tag eine weit abliegende Stadt. Die Reise von Konstantinopel nach Bagdad dauert auf dem Land- oder Seewege etwa vier Wochen. Die Frachtdampfer der Hamburg-Amerika-Linie gebrauchen für die Fahrt von Hamburg nach Basra, der Hafenstadt Babyloniens, etwa sechs Wochen. Die Lage Basras (Abb. 18), 100 km oberhalb der Mündung des wasserreichen Schatt-el-Arab, an der Grenze zwischen Fluß- und Seeschiffahrt, wäre günstig, wenn nicht die Einfahrt in den Fluß durch eine Barre für über 5 m tiefgehende Schiffe sehr erschwert wäre. Wie an unseren, im Wattenmeere liegenden Strommündungen kann auch hier durch dauernde Baggerung, Betonnung und Beleuchtung der Fahrrinne sehr viel geschehen. Basra kann zweifellos zu einem Hafen gemacht werden, der noch für lange Zeit den Ansprüchen des Landes genügen wird.

Das Zweistromland wird mit einem Schlage Europa näher gerückt, wenn die im Bau befindliche Eisenbahn in etwa fünf bis sechs Jahren bis Bagdad fertiggestellt ist. Die 2500 km lange Strecke von Haidar-Pascha nach Bagdad wird dann in zwei Tagen und acht Stunden durchfahren. Die Reise von Berlin bis Bagdad wird etwa fünf Tage beanspruchen, eine Reisezeit, die man auch notwendig hat, um von Berlin nach Kairo zu gelangen.

V. Wirtschaftlichkeit der Bewässerungsanlagen.

Aus der zukünftigen Getreide- und Baumwollernte errechnet Willcocks einen jährlichen Gewinn von 135 Mill. Mark, das sind 25 vH. der Kosten für Bewässerung und Herrichtung des Landes. Als Vergleich sei angegeben, daß sich Bewässerungsanlagen in Indien im Punjab bis zu 27 vH. verzinsen. Bei der Ertragsberechnung ist der bewässerte Boden Babyloniens zu einem Viertel des Wertes des ägyptischen Bodens angenommen, zu 1500 M./ha. Schon bei dieser mäßigen Annahme steigt der Wert der 1400000 ha großen Fläche von Null — denn einen eigentlichen Wert hat der Boden jetzt kaum — auf 2 Milliarden Mark. Auf der bewässerten Fläche können jährlich etwa $1^1/_2$ Millionen Tonnen Getreide und 1 Million Ballen Baumwolle, das ist zwei Drittel des ägyptischen Ertrages, wachsen. Der Wert dieser Ernte ist auf 400 bis 500 Millionen Mark zu schätzen.

Die jetzige Ausfuhr des Landes an landwirtschaftlichen Erzeugnissen, an Gerste, Weizen, Reis, Datteln, Schafwolle und Pferden beträgt etwa 23 Millionen Mark. Vergleicht man diese Zahl mit dem Wert der zukünftigen Ernte von 400 bis 500 Millionen Mark, so ergibt das eine Vorstellung,



Abb. 25. Reste der Königsstadt Ktesiphon am Tigris.

wie Handel und Wandel in Babylonien und wie Ein- und Ausfuhr zu Schiff und zu Eisenbahn zunehmen müssen, wenn einmal 1,4 Millionen Hektar Land in Kultur sind und ihre Anforderungen an Maschinen, Pumpen, Pflüge und andere Geräte stellen werden. Einer fernen Zukunft bleibt es vorbehalten, die ganzen 5 Millionen Hektar, die von den beiden Flüssen abhängig sind, wieder zu beleben.

Die Aussicht auf reiche Ernten, namentlich auf gute Baumwollernten, wird aber schon jetzt dazu drängen, das fruchtbare Land wieder zu erschließen, und zwar um so schneller, je näher die Eisenbahn dem Herzen des Landes, Bagdad, rückt. In diesem Lande wird sich dann der Vers im Koran bewahrheiten:

„Durch das Wasser wird alles Ding lebendig."

Beitrag zur Theorie der Rippenkuppel.

Von Dr.-Ing. H. Marcus in Berlin-Wilmersdorf.

Das räumliche Tragwerk, welches den Gegenstand der vorliegenden Untersuchung bildet, besteht aus Rippen und Ringen. Die Rippen liegen in lotrechten Ebenen, die sich in der Mittelachse des Systems durchschneiden: sie sind an einem gemeinsamen Scheitelring fest angeschlossen und durch wagerechte Zwischenringe gegenseitig versteift (Abb. 1). Wir setzen voraus, daß alle Rippen gleichartig gestaltet sind, daß

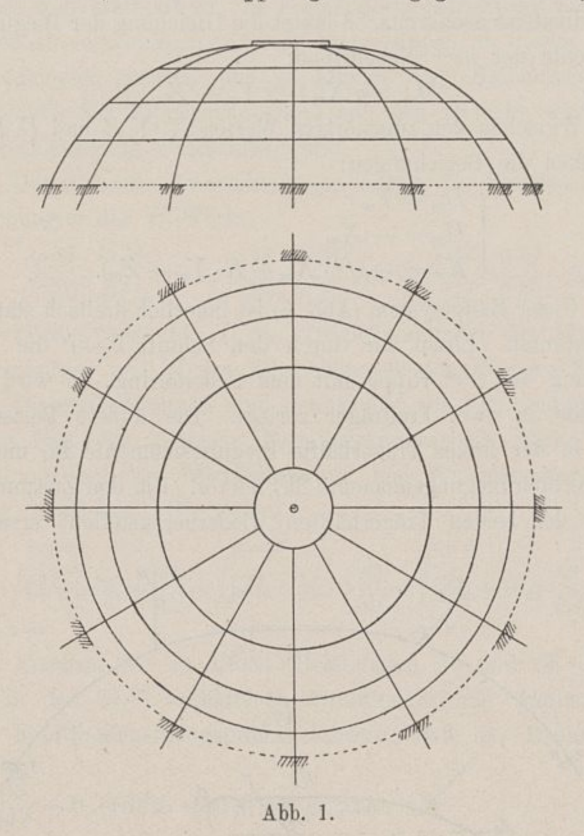


Abb. 1.

ihre Mittellinien eine regelmäßige Umdrehungsfläche bilden und daß der Winkel, welchen zwei benachbarte Rippenebenen miteinander schließen, überall der gleiche ist. Scheitelring, Fußring und Zwischenringe sind daher Kreise mit gemeinsamem Mittelpunkt.

An ihrem unteren Ende sind die Rippen im Widerlager eingespannt.[1]) Ist die Verbindung mit dem Stützkörper so beschaffen, daß der Auflagerwiderstand immer in der Rippenebene bleiben muß, so sprechen wir von einer ebenen Einspannung. Kann dagegen der Stützungswiderstand jede Richtung im Raume annehmen, so möge die Einspannung als eine räumliche gekennzeichnet werden. Eine ebene Einspannung setzt eine freie Beweglichkeit der Stützpunkte senkrecht zur Rippenebene voraus. Diese Bedingung kann in konstruktiver Hinsicht mit hinreichender Genauigkeit erfüllt werden, wenn das Trägheitsmoment des Stützkörpers in bezug auf eine in die Rippenebene fallende Hauptachse so klein ist im Vergleich zu demjenigen in bezug auf eine Achse senkrecht zur Rippenebene, daß praktisch eine tangentiale Federung des Stützkörpers ohne beträchtlichen Widerstand möglich ist.[2]) Eine räumliche Einspannung ist konstruktiv leichter zu gestalten. Sie hat nur den Nachteil, daß sowohl der Stützkörper als die Rippen auf Verwindung beansprucht werden, ein Umstand, der für Rippenkuppeln aus bewehrtem Beton besondere Beachtung verdient.

1) Die Theorie der Kuppel mit gelenkiger Stützung ist in einer Veröffentlichung des Verfassers in der Zeitschrift „Armierter Beton", 1912, Heft 1 und 2, entwickelt.

2) Auf diese Voraussetzung sind fast alle bisherigen Untersuchungen von Rippenkuppeln begründet. Vgl. Prof. S. Müller, „Die Kuppel der Friedrichstraßen-Passage, Berlin" (Armierter Beton 1909) — Dr. Mautner, „Beitrag zur Theorie der im Eisenbetonbau gebräuchlichen Form der Rippenkuppel" (Wilhelm Ernst u Sohn, 1911).

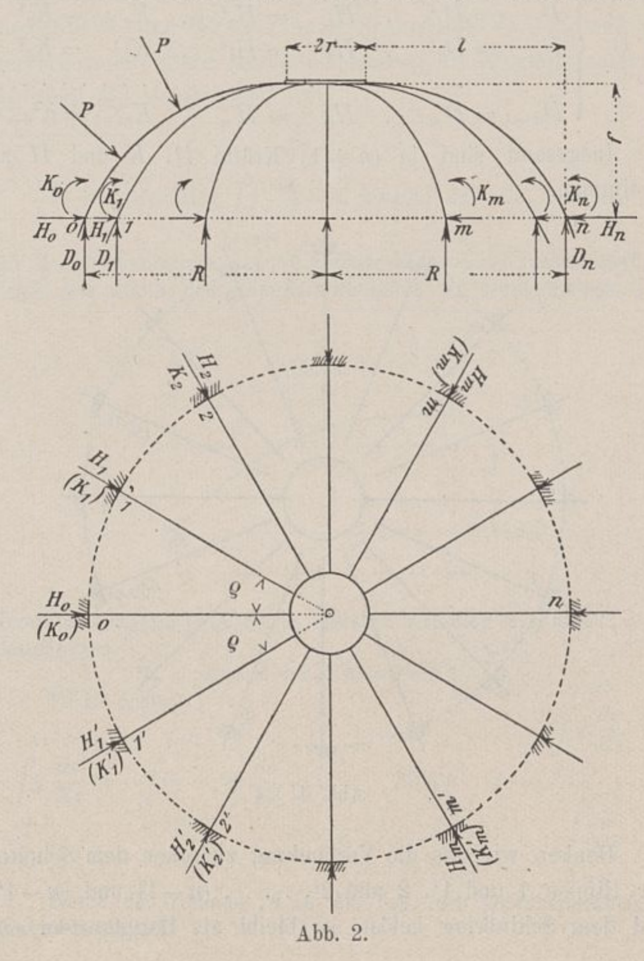


Abb. 2.

Die folgenden Untersuchungen sind in zwei Teile gegliedert. Im ersteren wird die Theorie der Rippenkuppel mit ebener Einspannung entwickelt, und zwar der Reihe nach für Tragwerke ohne Zwischenringe und mit Zwischenringen, bei gerader und bei ungerader Rippenanzahl. Im zweiten Teil wird die Kuppel mit räumlicher Einspannung behandelt.

I. Theorie der Rippenkuppel mit ebener Einspannung.

§ 1. Die Kuppel mit gerader Rippenanzahl und ohne Zwischenringe.

1. Wahl des Hauptsystems und der statisch unbestimmten Größen.

Die aus Abb. 2 ersichtlichen Bezeichnungen haben folgende Bedeutung. l die Spannweite einer Rippe, f die Pfeilhöhe der Kuppel, r der Halbmesser des Scheitelringes, R der Halbmesser der Kuppel, ϱ der Winkel, welchen die Ebenen zweier benachbarten Rippen miteinander schließen.

Wir setzen voraus, daß nur eine Rippe belastet wird, und zwar mit beliebig gerichteten Kräften P, welche in ihrer Meridianebene wirken. Diese Rippe erhält die Ordnungsziffer 0, den übrigen Rippen werden die Ziffern 1 und 1', 2 und 2', 3 und 3' usf. angewiesen, die n^{te} Rippe ist die der belasteten unmittelbar gegenüberliegende.

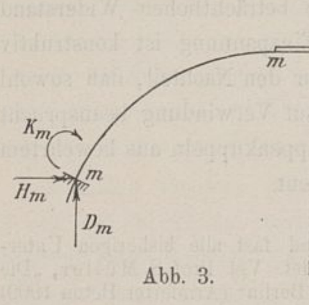


Abb. 3.

Der Stützenwiderstand der m^{ten} Rippe setzt sich aus einem lotrechten Auflagerdruck D_m, einem wagerechten, radial gerichteten Schub H_m und einem in der Meridianebene drehenden Kräftepaar K_m zusammen (Abb. 3). Infolge der Symmetrie gelten die Beziehungen:

$$\text{I)}\quad \begin{cases} D_1 = D_1' , & H_1 = H_1' , & K_1 = K_1' \\ D_2 = D_2' , & H_2 = H_2' , & K_2 = K_2' \\ D_3 = D_3' , & H_3 = H_3' , & K_3 = K_3' \\ \dots\dots & \dots\dots & \dots\dots \\ D_{n-1} = D'_{n-1} , & H_{n-1} = H'_{n-1} , & K_{n-1} = K'_{n-1} . \end{cases}$$

Insgesamt sind je $(n+1)$ Kräfte D, K und H zu bestimmen.

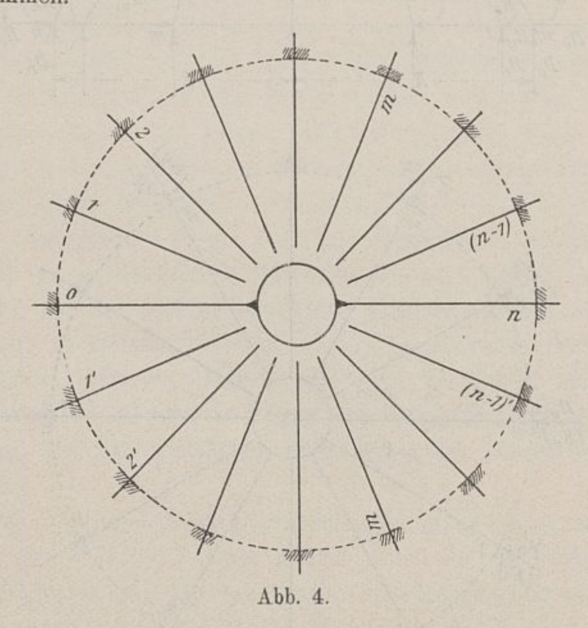


Abb. 4.

Denken wir uns die Verbindung zwischen dem Scheitel der Rippen 1 und 1', 2 und 2', ... $(n-1)$ und $(n-1')$ und dem Schlußring gelöst, so bleibt als Hauptsystem ein aus den Rippen 0 und n bestehender eingespannter Bogen, während die $2(n-1)$ übrigen Rippen, die wir kurz Nebenrippen nennen wollen, in einfache Freiträger verwandelt werden (Abb. 4). Die Spannkräfte, die an der Verbindungsstelle der m^{ten} Rippe mit dem Schlußring entstehen, lassen sich durch drei in der Meridianebene liegende Kraftgrößen, eine Achsialkraft X_m, eine lotrechte Querkraft Y_m und ein Kräftepaar Z_m darstellen (Abb. 5). Der Angriffspunkt dieser Kräfte befindet sich auf der Mittelachse der Kuppel, am Endpunkt 0 einer starren Scheibe mko; seine Lage ist einerseits durch den Winkel φ_m, welchen die Achse der m^{ten} Rippe mit derjenigen der Rippe 0 bildet, und anderseits durch die später genau festzustellende Ordinate f^u bestimmt.

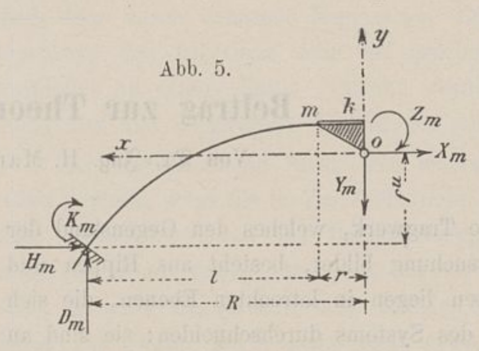


Abb. 5.

Legen wir durch diesen Punkt ein rechtwinkliges Koordinatenachsenkreuz, so lautet die Gleichung der Biegungsmomente der m^{ten} Nebenrippe:

$$1)\qquad M_m = y\,X_m - x\,Y_m - Z_m.$$

Zwischen den zugehörigen Werten X, Y, Z und D, H, K bestehen die Beziehungen:

$$2)\qquad \begin{cases} D_m = Y_m \\ H_m = -X_m \\ K_m = -(f^u \cdot X_m + R \cdot Y_m + Z_m). \end{cases}$$

Unser Hauptsystem (Abb. 6) ist innerlich dreifach statisch unbestimmt. Lösen wir durch den Schnitt $i'-i'$ die Verbindung der n^{ten} Rippe mit dem Scheitelring, so wird das Gebilde in zwei Freiträger zerlegt. Die äußere Belastung ruft in der linken Trägerhälfte Biegungsmomente $\mathfrak{M}_l$ und in der rechten Biegungsmomente $\mathfrak{M}_r$ hervor. Um den Zusammenhang der beiden Trägerhälften wiederherzustellen, ersetzen

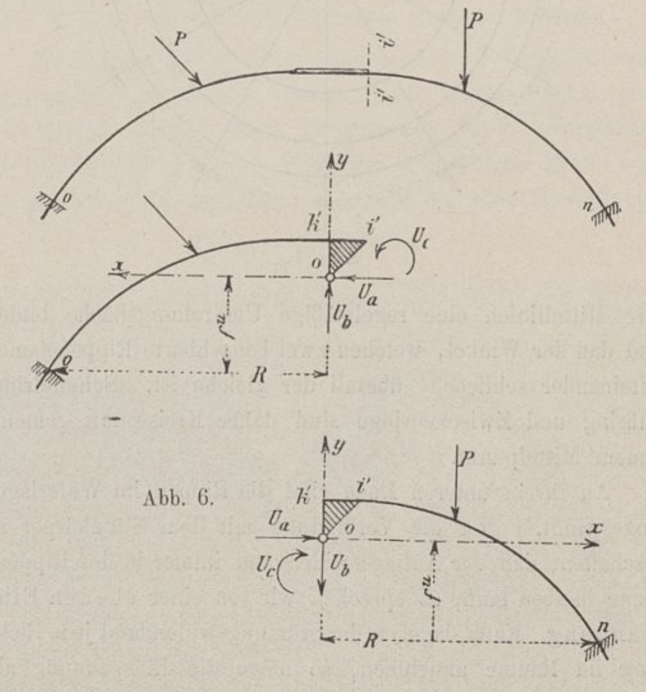


Abb. 6.

wir die Spannkräfte an der Schnittstelle durch drei Kraftgrößen, eine Achsialkraft U_a, eine Querkraft U_b und ein Kräftepaar U_c, welche am Endpunkte o einer starren Scheibe

$i'k'o$ angreifen. Die resultierenden Biegungsmomente sind dann, wenn wie vorhin das Koordinatenachsenkreuz durch den Punkt o gelegt wird,

für die linke Trägerhälfte:

$$3^a)\qquad M_l = \mathfrak{M}_l - y U_a + x U_b + U_c,$$

und für die rechte:

$$3^b)\qquad M_r = \mathfrak{M}_r - y U^a - x U_b + U_c.$$

Bevor wir zur Bestimmung der drei Werte U_a, U_b und U_c übergehen, müssen wir eine grundlegende Aussage über die Ausgestaltung des Schlußringes vorausschicken. Es möge, vorbehaltlich späterer genauerer Untersuchungen, angenommen werden, daß der Ring kräftig genug bemessen ist, um als starr angesehen werden zu dürfen. Diese Annahme, deren Zweckmäßigkeit sich in einer wesentlichen Vereinfachung der Kuppeltheorie erweist, ist praktisch gerechtfertigt, wenn die Seitenwände des am Scheitelring sich anschließenden Laternenaufsatzes mit dem ersteren derartig fest verbunden werden, daß beide ein statisch einheitlich wirkendes Tragwerk bilden. Das Trägheitsmoment des Ringquerschnittes ist dann im Vergleich zu demjenigen der Rippen so außerordentlich stark, daß es wohl statthaft ist, die Formänderungsarbeit des Schlußringes zu vernachlässigen.[3]) Je mehr Rippen an diesen Ring angeschlossen werden und je kleiner sein Halbmesser im Verhältnis zur Rippenspannweite ist, um so mehr wird die Vernachlässigung zweckmäßig sein.

Unter diesen Voraussetzungen lauten die Bestimmungsgleichungen der U-Werte:

$$\text{II)}\qquad \int \frac{M}{EI}\cdot\frac{\partial M}{\partial U_a}\cdot ds = \int \frac{M}{EI}\cdot\frac{\partial M}{\partial U_b}\cdot ds = \int \frac{M}{EI}\cdot\frac{\partial M}{\partial U_c}\cdot ds = 0.$$

Hierbei bedeuten I das Trägheitsmoment des Rippenquerschnittes und E das Elastizitätsmaß des Rippenstoffes.

Diese Gleichungen sind unmittelbar aus dem Castiglianoschen Satz der kleinsten Formänderungsarbeit, unter Ausschaltung jeglicher Wärmeänderung und Widerlagerverschiebung, abgeleitet. Sie liefern:

$$\text{III)}\qquad \int_{x=r}^{x=R} (M_l + M_r) y \frac{ds}{EI} = \int_{x=r}^{x=R} (M_l - M_r) x \frac{ds}{EI} = \int_{x=r}^{x=R} (M_l + M_r)\cdot\frac{ds}{EI} = 0.$$

Ersetzen wir in diesen Gleichungen M_l und M_r durch die in den Gl. 3 enthaltenen Funktionen, und wählen wir den Koordinatenanfangspunkt derartig, daß die Bedingung

$\int_{x=r}^{x=R} y \frac{ds}{EI} = 0$ erfüllt wird,[4]) so erhalten wir:

$$\text{IV)}\qquad U_a = \frac{\int_{x=r}^{x=R} (\mathfrak{M}_l + \mathfrak{M}_r)\, y \frac{ds}{EI}}{2\int_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}};\quad U_b = -\frac{\int_{x=r}^{x=R} (\mathfrak{M}_l - \mathfrak{M}_r)\, x \frac{ds}{EI}}{2\int_{x=r}^{x=R} x^2 \frac{ds}{EI}};$$

$$U_c = -\frac{\int_{x=r}^{x=R} (\mathfrak{M}_l + \mathfrak{M}_r) \frac{ds}{EI}}{2\int_{x=r}^{x=R} \frac{ds}{EI}}.$$

Die Gleichungen 3 und IV geben uns die Möglichkeit, die Spannungen des Hauptsystems in jedem Belastungszustande festzustellen. Wird das Hauptsystem nur durch die Lasten P beansprucht (Abb. 7), so entstehen Stützenwider-

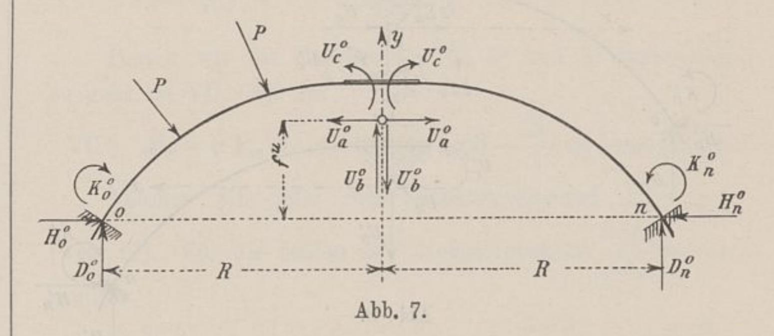


Abb. 7.

stände D_0^0, H_0^0, K_0^0, D_n^0, H_n^0, K_n^0 und Biegungsmomente $\mathfrak{M}_l^0$ und $\mathfrak{M}_r^0$, welche sich mit den inneren Spannkräften U_a^0, U_b^0 und U_c^0 zu resultierenden Biegungsmomenten M_l^0 und M_r^0 vereinigen lassen. Wirken dagegen auf das Hauptsystem nur die drei Gruppen von Kraftgrößen X, Y und Z, so werden Stützenwiderstände D_0', H_0', K_0', D_n', H_n', K_n', Biegungsmomente $\mathfrak{M}_l'$ und $\mathfrak{M}_r'$ und innere Spannkräfte U_a', U_b' und U_c' hervorgerufen, deren Zusammensetzung die Biegungsmomente M_l' und M_r' liefert (Abb. 9).

---

3) Diese Vernachlässigung liefert für die Rippen zu günstige, und für den Schlußring zu ungünstige Spannungswerte. Um ihre Brauchbarkeit zu prüfen, muß man die Ringformänderungen, welche den näherungsweise ermittelten Werten U_a, U_b, U_c entsprechen, nachträglich feststellen und sich überzeugen, daß sie wirklich im Vergleich zu den Rippenformänderungen als verschwindend klein angesehen werden dürfen. Allerdings ist die Bestimmung der Formänderung eines auf Druck, Schub, Biegung und Verwindung beanspruchten Ringes keine leichte Aufgabe. Der ebene vollwandige Ring ist in dieser Hinsicht von Prof. Dr.-Ing. Müller-Breslau in den „Neueren Methoden der Festigkeitslehre" (1904) und von Prof. Dr.-Ing. Mann in seiner Abhandlung „Über zyklische Symmetrie in der Statik mit Anwendungen auf das räumliche Fachwerk" (Eisenbau, 1911, Heft 1) untersucht worden. Für Ringe, welche als strebenlose räumliche Fachwerke ausgebildet werden, hat der Verfasser Untersuchungen angestellt, deren Ergebnisse in einer nächstens erscheinenden Veröffentlichung mitgeteilt werden.

4) Die Gleichung $\int_{x=r}^{x=R} y \frac{ds}{EI} = 0$ besagt, daß die X-Achse mit der Ausgleichungslinie der verzerrten Rippenachse zusammenfällt. Legen wir durch den Kämpfermittelpunkt ein rechtwinkliges η, ξ

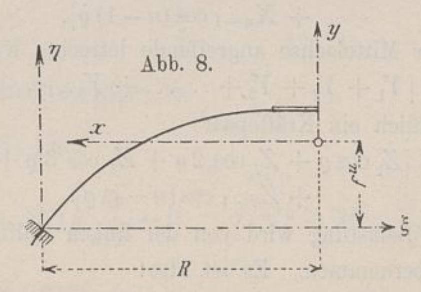


Abb. 8.

Koordinatensystem (Abb. 8), so bestehen zwischen x, y und ξ, η die Beziehungen:

$$x = R - \xi,\quad y = \eta - f^u.$$

Es ist daher

$$\int_{x=r}^{x=R} y \frac{ds}{EI} = -\int_{\xi=0}^{\xi=l} (\eta - f^u) \frac{ds}{EI} = 0.\qquad \text{Mithin}\quad f^u = \frac{\int_{\xi=0}^{\xi=l} \eta \frac{ds}{EI}}{\int_{\xi=0}^{\xi=l} \frac{ds}{EI}}.$$

Durch die Ordinate f^u ist die Lage des Koordinatenanfangspunktes bestimmt.

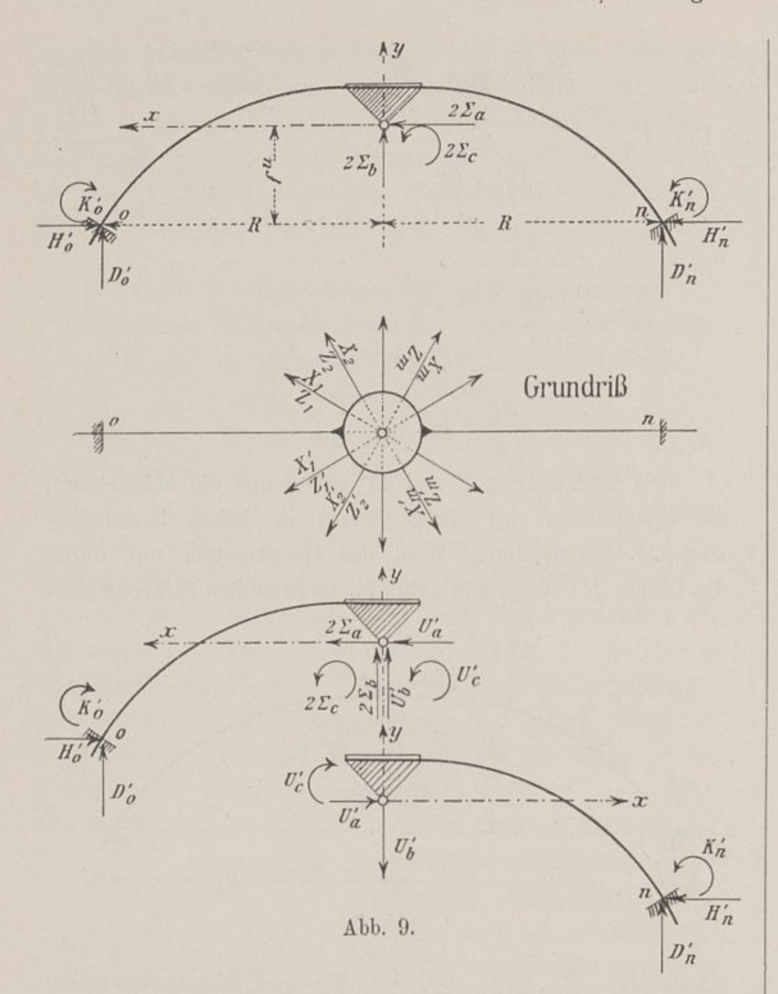


Abb. 9.

Der endgültige Spannungszustand des Hauptsystems ist durch die Gleichungen:

$$\text{V)}\quad \begin{cases} U_a = U_a^0 + U_a'\,; \quad U_b = U_b^0 + U_b'\,; \quad U_c = U_c^0 + U_c'\,; \\ D_0 = D_0^0 + D_0'\,; \quad H_0 = H_0^0 + H_0'\,; \quad K_0 = K_0^0 + K_0'\,; \\ D_n = D_n^0 + D_n'\,; \quad H_n = H_n^0 + H_n'\,; \quad K_n = K_n^0 + K_n'\,; \\ M_l = M_l^0 + M_l'\,; \quad M_r = M_r^0 + M_r' \end{cases}$$

gekennzeichnet.

Um die Werte M' und U' zu bestimmen, müssen wir bedenken, daß infolge der Symmetrie sämtliche Widerstände X, Y und Z der Nebenrippen sich zu drei in der Ebene des Hauptsystems wirkenden Kraftgrößen vereinigen lassen (Abb. 9). Diese sind: eine in die x-Achse fallende wagerechte Kraft

$$2\Sigma_a = 2\,[X_1 \cos\varrho + X_2 \cos 2\varrho + X_3 \cos 3\varrho + \ldots\ldots + X_{n-1}\cos(n-1)\varrho],$$

eine in der Mittelachse angreifende lotrechte Kraft

$$2\Sigma_b = 2\,[Y_1 + Y_2 + Y_3 + \ldots\ldots + Y_{n-1}],$$

und schließlich ein Kräftepaar

$$2\Sigma_c = 2\,[Z_1 \cos\varrho + Z_2 \cos 2\varrho + Z_3 \cos 3\varrho + \ldots\ldots + Z_{n-1}\cos(n-1)\varrho].$$

Diese Belastung wird von der linken Hälfte des Hauptsystems übernommen. Es ist also:

$$\text{4)}\quad \mathfrak{M}_l' = -2\Sigma_a\cdot y + 2\Sigma_b\cdot x + 2\Sigma_c \qquad \mathfrak{M}_r' = 0.$$

Führen wir diese Werte in die Gl. IV, und setzen wir zur Abkürzung

$$\text{5)}\quad \frac{\int\limits_{x=r}^{x=R} x\frac{ds}{EI}}{\int\limits_{x=r}^{x=R}\frac{ds}{EI}} = \lambda\,; \quad \frac{\int\limits_{x=r}^{x=R} xy\frac{ds}{EI}}{\int\limits_{x=r}^{x=R} y^2\frac{ds}{EI}} = \alpha\,; \quad \frac{\int\limits_{x=r}^{x=R} xy\frac{ds}{EI}}{\int\limits_{x=r}^{x=R} x^2\frac{ds}{EI}} = \beta\,; \quad \frac{\lambda\cdot\int\limits_{x=r}^{x=R} x\frac{ds}{EI}}{\int\limits_{x=r}^{x=R} x^2\frac{ds}{EI}} = \gamma,$$

so ergibt sich:

$$\text{VI)}\quad \begin{cases} U_a' = \dfrac{\int\limits_{x=r}^{x=R}\mathfrak{M}_l'\cdot y\frac{ds}{EI}}{2\int\limits_{x=r}^{x=R} y^2\frac{ds}{EI}} = -\Sigma_a + \alpha\Sigma_b \\ U_b' = -\dfrac{\int\limits_{x=r}^{x=R}\mathfrak{M}_l'\cdot x\frac{ds}{EI}}{2\int\limits_{x=r}^{x=R} x^2\frac{ds}{EI}} = \beta\Sigma_a - \Sigma_b - \gamma\dfrac{\Sigma_c}{\lambda} \\ \dfrac{U_c'}{\lambda} = -\dfrac{\int\limits_{x=r}^{x=R}\mathfrak{M}_l'\cdot\frac{ds}{EI}}{2\int\limits_{x=r}^{x=R}\frac{ds}{EI}} = -\Sigma_b - \dfrac{\Sigma_c}{\lambda}. \end{cases}$$

Die Gleichungen 3 liefern nun:

$$\text{6}^{\text{a}})\quad M_l' = \mathfrak{M}_l' - U_a'y + U_b'x + U_c' = -\Sigma_a(y-\beta x) + \Sigma_b(x-\alpha y-\lambda) + \frac{\Sigma_c}{\lambda}(\lambda-\gamma x).$$

$$\text{6}^{\text{b}})\quad M_r' = -U_a'y - U_b'x + U_c' = +\Sigma_a(y-\beta x) + \Sigma_b(x-\alpha y-\lambda) - \frac{\Sigma_c}{\lambda}(\lambda-\gamma x).$$

Ferner ergibt sich:

$$\text{7)}\quad \begin{cases} D_0' = -(2\Xi_b + U_b') = -\Sigma_b - \beta\Sigma_a + \gamma\dfrac{\Sigma_c}{\lambda}\,; \\ \qquad D_n' = U_b' = \beta\Sigma_a - \Sigma_b - \gamma\dfrac{\Sigma_c}{\lambda}\,; \\ H_0' = 2\Sigma_a + U_a' = \Sigma_a + \alpha\Sigma_b\,; \quad H_n' = U_a' = -\Sigma_a + \alpha\Sigma_b\,; \\ K_0' = -[f^u(2\Sigma_a + U_a') + R(2\Sigma_b + U_b') + (2\Sigma_c + U_c')] \\ \qquad = -\Sigma_a(f^u + \beta R) + \Sigma_b(\lambda - R - \alpha f^u) - \dfrac{\Sigma_c}{\lambda}(\lambda - \gamma R)\,; \\ K_n' = -f^u U_a' + R U_b' - U_c' \\ \qquad = \Sigma_a(f^u + \beta R) + \Sigma_b(\lambda - R - \alpha f^u) + \dfrac{\Sigma_c}{\lambda}(\lambda - \gamma R). \end{cases}$$

Werden diese Werte mit denjenigen Werten M^0, D^0, H^0 und K^0 vereinigt, welche der äußeren Belastung des Hauptsystems entsprechen, so wird der wirkliche Spannungszustand desselben durch die folgenden endgültigen Formeln gekennzeichnet:

$$\text{V}^{\text{a}})\quad \begin{cases} U_a = U_a^0 - \Sigma_a + \alpha\Sigma_b\,; \quad U_b = U_b^0 + \beta\Sigma_a - \Sigma_b - \gamma\dfrac{\Sigma_c}{\lambda}\,; \\ \qquad U_c = U_c^0 - \Sigma_b\cdot\lambda - \Sigma_c\,; \\ D_0 = D_0^0 - \beta\Sigma_a - \Sigma_b + \gamma\dfrac{\Sigma_c}{\lambda}\,; \quad D_n = D_n^0 + \beta\Sigma_a - \Sigma_b \quad \gamma\dfrac{\Sigma_c}{\lambda}\,; \\ H_0 = H_0^0 + \Sigma_a + \alpha\Sigma_b\,; \quad H_n = H_n^0 - \Sigma_a + \alpha\Sigma_b\,; \\ K_0 = K_0^0 - \Sigma_a(f^u + \beta R) + \Sigma_b(\lambda - R - \alpha f^u) - \dfrac{\Sigma_c}{\lambda}(\lambda - \gamma R)\,; \\ K_n = K_n^0 + \Sigma_a(f^u + \beta R) + \Sigma_b(\lambda - R - \alpha f^u) + \dfrac{\Sigma_c}{\lambda}(\lambda - \gamma R)\,; \\ M_l = M_l^0 - \Sigma_a(y - \beta x) + \Sigma_b(x - \alpha y - \lambda) + \dfrac{\Sigma_c}{\lambda}(\lambda - \gamma x)\,; \\ M_r = M_r^0 + \Sigma_a(y - \beta x) + \Sigma_b(x - \alpha y - \lambda) - \dfrac{\Sigma_c}{\lambda}(\lambda - \gamma x). \end{cases}$$

Die drei Gruppen X, Y und Z sind unsere statisch unbestimmten Größen. Ihre Ermittlung ist das nächste Ziel unserer Untersuchung.

Zur Verfügung stehen, auf Grund des Castiglianoschen Satzes der kleinsten Formänderungsarbeit, wenn wie vorhin Wärmeeinflüsse und Widerlagerverschiebungen ausgeschlossen werden, drei Elastizitätsgleichungssysteme in der Form:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{VII)} & \int \frac{M}{EI}\,\frac{\partial M}{\partial X_m}\cdot ds = 0; \\ \text{VIII)} & \int \frac{M}{EI}\,\frac{\partial M}{\partial Y_m}\cdot ds = 0; \\ \text{IX)} & \int \frac{M}{EI}\,\frac{\partial M}{\partial Z_m}\cdot ds = 0. \end{array}\right.$$

In diesen Gleichungen ist nur der Beitrag der Biegungsmomente zur Formänderungsarbeit berücksichtigt. Achsial- und Querkräfte sind dagegen, um den Rechnungsgang zu vereinfachen, außer acht gelassen. Diese Vernachlässigung ist insofern statthaft, als sie die Genauigkeit der Untersuchung in den durch die Annahme des starren Ringes festgelegten Grenzen nicht beeinträchtigt.

2. Entwicklung und Auflösung der Elastizitätsgleichungen.

Betrachten wir zunächst den teilweisen Belastungszustand $X_m = +1$ (Abb. 10). Für die beiden m^{ten} Nebenrippen ist $\frac{\partial M_m}{\partial X_m} = +y$. Ihr gemeinsamer Beitrag zur Gl. VII ist also:

$$8^{a})\quad 2\int_{x=r}^{x=R} M_m \cdot y\,\frac{ds}{EI} = 2\left[X_m \int_{x=r}^{x=R} y^2\,\frac{ds}{EI} - Y_m \int_{x=r}^{x=R} xy\,\frac{ds}{EI}\right].$$

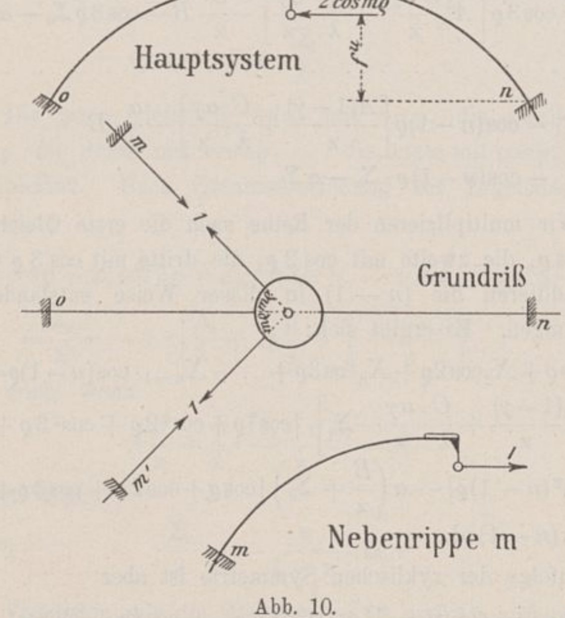


Abb. 10.

Für das Hauptsystem ist anderseits:

$$\frac{\partial M_l}{\partial X_m} = -\frac{\partial \Sigma_a}{\partial X_m}(y - \beta x) = \cos(m\varrho)\cdot[\beta x - y]$$

$$\frac{\partial M_r}{\partial X_m} = +\frac{\partial \Sigma_a}{\partial X_m}(y - \beta x) = -(\beta x - y)\cos(m\varrho)$$

$$\int_{x=r}^{x=R}\left(M_l \cdot \frac{\partial M_l}{\partial X_m} + M_r \cdot \frac{\partial M_r}{\partial X_m}\right)\frac{ds}{EI} = \int_{x=r}^{x=R}(M_l - M_r)(\beta x - y)\cos(m\varrho)\frac{ds}{EI}.$$

Beachten wir, daß nach Gl. III für das Hauptsystem

$$\int_{x=r}^{x=R}(M_l^0 - M_r^0)\,x\,\frac{ds}{EI} = 0$$

sein muß, und setzen wir zur Abkürzung

$$\frac{\int_{x=r}^{x=R}(M_l^0 - M_r^0)\,y\,\frac{ds}{EI}}{2\int_{x=r}^{x=R} y^2\,\frac{ds}{EI}} = A,$$

so liefern die Gl. V^a:

$$8^{b})\quad \int_{x=r}^{x=R}(M_l - M_r)(\beta x - y)\cos(m\varrho)\cdot\frac{ds}{EI}$$

$$= 2\int_{x=r}^{x=R} y^2\,\frac{ds}{EI}\cdot\left[\Sigma_a(1 - \alpha\beta) + \frac{\Sigma_c}{\lambda}\cdot\alpha\gamma - A\right]\cos(m\varrho).$$

Fassen wir die Beiträge der Gl. 8^a und 8^b zusammen, so geht Gl. VII über in:

$$\text{VII}^{a})\quad \boldsymbol{X_m - \alpha Y_m = \left[A - \Sigma_a(1 - \alpha\beta) - \frac{\Sigma_c}{\lambda}\cdot\alpha\gamma\right]\cos(m\varrho).}$$

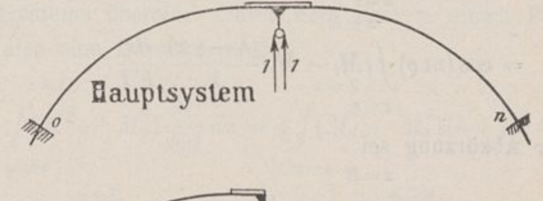
Nehmen wir jetzt den Belastungszustand $Y_m = +1$ (Abb. 11). Für die beiden m^{ten} Nebenrippen ist $\frac{\partial M_m}{\partial Y_m} = -x$, somit:

$$9^{a})\quad -2\int_{x=r}^{x=R} M_m \cdot x\,\frac{ds}{EI} = -2\left[X_m \int_{x=r}^{x=R} xy\,\frac{ds}{EI} - Y_m \int_{x=r}^{x=R} x^2\,\frac{ds}{EI} - Z_m \int_{x=r}^{x=R} x\,\frac{ds}{EI}\right].$$

Für das Hauptsystem gelten die folgenden Beziehungen:

$$\frac{\partial M_l}{\partial Y_m} = (x - \alpha y - \lambda)\,\frac{\partial \Sigma_b}{\partial Y_m} = x - \alpha y - \lambda = \frac{\partial M_r}{\partial Y_m}$$

$$\int_{x=r}^{x=R}\left(M_l \cdot \frac{\partial M_l}{\partial Y_m} + M_r \cdot \frac{\partial M_r}{\partial Y_m}\right)\frac{ds}{EI} = \int_{x=r}^{x=R}(M_l + M_r)(x - \alpha y - \lambda)\,\frac{ds}{EI}.$$



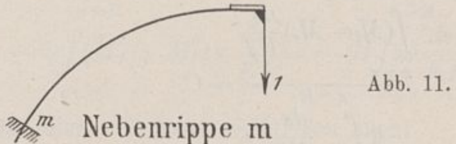


Abb. 11.

Da nach Gl. III:

$$\int_{x=r}^{x=R}(M_l^0 + M_r^0)\,y\,\frac{ds}{EI} = 0, \quad \int_{x=r}^{x=R}(M_l^0 + M_r^0)\,\frac{ds}{EI} = 0,$$

so ergibt sich, wenn

$$\frac{\int_{x=r}^{x=R}(M_l^0 + M_r^0)\,x\,\frac{ds}{EI}}{2\int_{x=r}^{x=R} x^2\,\frac{ds}{EI}} = B$$

gesetzt wird:

$$9^{b})\quad \int_{x=r}^{x=R}(M_l + M_r)(x - \alpha y - \lambda)\,\frac{ds}{EI} = 2\int_{x=r}^{x=R} x^2\,\frac{ds}{EI}\,[B + \Sigma_b(1 - \alpha\beta - \gamma)].$$

Die Vereinigung der Gl. 9[a] und 9[b] liefert statt Gl. VIII:

$$\text{VIII}^{a}) \qquad \beta X_m - Y_m - \gamma \frac{Z_m}{\lambda} = B + \Sigma_b (1 - \alpha\beta - \gamma).$$

Betrachten wir schließlich den Belastungszustand: $Z_m = +1$ (Abb. 12). Für die beiden m^{ten} Nebenrippen ist $\frac{\partial M_m}{\partial Z_m} = -1$, und

$$10^{a}) \qquad -2 \int_{x=r}^{x=R} M_m \cdot \frac{ds}{EI} = +2 \left[Y_m \int_{x=r}^{x=R} x \frac{ds}{EI} + Z_m \int_{x=r}^{x=R} \frac{ds}{EI} \right].$$

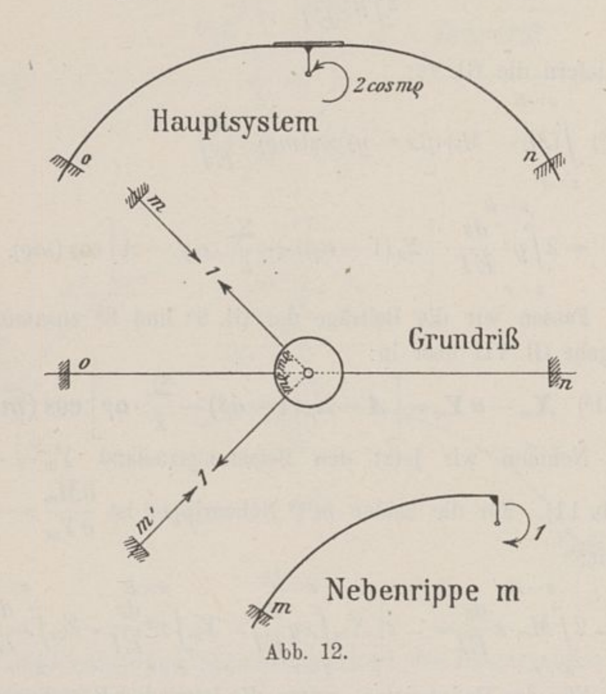


Abb. 12.

Für das Hauptsystem ergibt sich:

$$\frac{\partial M_l}{\partial Z_m} = \frac{\lambda - \gamma x}{\lambda} \quad \frac{\partial \Sigma_c}{\partial Z_m} = \frac{\lambda - \gamma x}{\lambda} \cdot \cos(m\varrho) = -\frac{\partial M_r}{\partial Z_m}$$

$$\int_{x=r}^{x=R} \left(M_l \cdot \frac{\partial M_l}{\partial Z_m} + M_r \cdot \frac{\partial M_r}{\partial Z_m} \right) \frac{ds}{EI}$$

$$= \cos(m\varrho) \int_{x=r}^{x=R} (M_l - M_r) \frac{(\lambda - \gamma x)}{\lambda} \frac{ds}{EI}.$$

Zur Abkürzung sei

$$\frac{\int_{x=r}^{x=R} (M_l - M_r) \frac{ds}{EI}}{2 \int_{x=r}^{x=R} \frac{ds}{EI}} = C$$

gesetzt. Es ist dann nach Gl. V[a]):

$$10^{b}) \qquad \int_{x=r}^{x=R} (M_l - M_r) \frac{(\lambda - \gamma x)}{\lambda} \frac{ds}{EI} \cdot \cos(m\varrho)$$

$$= 2 \int_{x=r}^{x=R} \frac{ds}{EI} [C + \lambda\beta\Sigma_a + \Sigma_c(1-\gamma)] \cos(m\varrho).$$

Nach Verbindung der Gl. 10[a]) und 10[b]), geht Gl. IX über in:

$$\text{IX}^{a}) \qquad -Y_m - \frac{Z_m}{\lambda} = \left[\frac{C}{\lambda} + \beta\Sigma_a + \frac{\Sigma_c}{\lambda}(1-\gamma) \right] \cos(m\varrho).$$

Die Gleichungen VII[a]), VIII[a]) und IX[a]) sind die grundlegenden Elastizitätsgleichungen der einfachen Rippenkuppel: sie drücken die geometrischen Beziehungen zwischen den Verschiebungen jedes Punktes m des Ringumfanges und den entsprechenden Verschiebungen des Scheitels der m^{ten} Rippe aus und kennzeichnen die Starrheit der Verbindung zwischen Ring und Rippe. Geben wir m der Reihe nach die Werte $1, 2, 3 \ldots (n-1)$, so erhalten wir drei Gruppen von je $(n-1)$ Gleichungen, aus denen die drei Gruppen X, Y, Z ermittelt werden können.

Wir werden nun zeigen, daß es möglich ist, zu einer geschlossenen Lösung der drei Elastizitätsgleichungssysteme zu gelangen.

Die Gleichungen VII[a]), VIII[a]) und IX[a]) liefern nach einer einfachen Umgestaltung:

$$11^{a}) \quad X_m = \frac{\cos(m\varrho)\left[A(1-\gamma) + \frac{C}{\lambda}\alpha\gamma\right] - \alpha B}{1 - \alpha\beta - \gamma} - \cos(m\varrho)\Sigma_a - \alpha\Sigma_b$$

$$11^{b}) \quad Y_m = \frac{\cos(m\varrho)\left[A\beta + \gamma\frac{C}{\lambda}\right] - B}{1 - \alpha\beta - \gamma} - \cos(m\varrho)\beta\Sigma_a - \Sigma_b + \cos(m\varrho)\gamma\frac{\Sigma_c}{\lambda}$$

$$11^{c}) \quad \frac{Z_m}{\lambda} = \frac{B - \cos(m\varrho)\left[A\beta + (1-\alpha\beta)\frac{C}{\lambda}\right]}{1 - \alpha\beta - \gamma} + \Sigma_b - \cos(m\varrho)\frac{\Sigma_c}{\lambda}.$$

Setzen wir $1 - \alpha\beta - \gamma = \varkappa$, so lautet das erste Elastizitätsgleichungssystem:

$$\begin{cases} X_1 = \cos\varrho\left[A\frac{(1-\gamma)}{\varkappa} + \frac{C}{\lambda}\cdot\frac{\alpha\gamma}{\varkappa}\right] - \frac{\alpha}{\varkappa}\cdot B - \cos\varrho\,\Sigma_a - \alpha\Sigma_b \\ X_2 = \cos 2\varrho\left[A\frac{(1-\gamma)}{\varkappa} + \frac{C}{\lambda}\cdot\frac{\alpha\gamma}{\varkappa}\right] - \frac{\alpha}{\varkappa}\cdot B - \cos 2\varrho\,\Sigma_a - \alpha\Sigma_b \\ X_3 = \cos 3\varrho\left[A\frac{(1-\gamma)}{\varkappa} + \frac{C}{\lambda}\cdot\frac{\alpha\gamma}{\varkappa}\right] - \frac{a}{\varkappa}\cdot B - \cos 3\varrho\,\Sigma_a - \alpha\Sigma_b \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ X_{n-1} = \cos(n-1)\varrho\left[\frac{A(1-\gamma)}{\varkappa} + \frac{C}{\lambda}\cdot\frac{\alpha\gamma}{\varkappa}\right] - \frac{\alpha}{\varkappa}\cdot B \\ \qquad - \cos(n-1)\varrho\cdot\Sigma_a - \alpha\Sigma_b. \end{cases}$$

Wir multiplizieren der Reihe nach die erste Gleichung mit $\cos\varrho$, die zweite mit $\cos 2\varrho$, die dritte mit $\cos 3\varrho$ usw. und addieren die $(n-1)$ in dieser Weise entstandenen Gleichungen. Es ergibt sich:

$$\begin{cases} X_1\cos\varrho + X_2\cos 2\varrho + X_3\cos 3\varrho + \ldots + X_{n-1}\cdot\cos(n-1)\varrho = \Sigma_a \\ = \left[A\frac{(1-\gamma)}{\varkappa} + \frac{C}{\lambda}\cdot\frac{\alpha\gamma}{\varkappa} - \Sigma_a\right][\cos^2\varrho + \cos^2 2\varrho + \cos^2 3\varrho + \ldots \\ + \cos^2(n-1)\varrho] - \alpha\left(\frac{B}{\varkappa} + \Sigma_b\right)[\cos\varrho + \cos 2\varrho + \cos 3\varrho + \ldots \\ + \cos(n-1)\varrho]. \end{cases}$$

Infolge der zyklischen Symmetrie ist aber

$$\cos\varrho = -\cos(n-1)\varrho;\ \cos 2\varrho = -\cos(n-2)\varrho;$$
$$\cos 3\varrho = -\cos(n-3)\varrho;\ \cos k\varrho = -\cos(n-k)\varrho.$$

Mithin: $\cos\varrho + \cos 2\varrho + \cos 3\varrho + \ldots + \cos(n-3)\varrho + \cos(n-2)\varrho + \cos(n-1)\varrho = 0.$

Setzen wir:

$$\frac{A(1-\gamma)}{\varkappa} + \frac{\alpha\gamma}{\varkappa}\cdot\frac{C}{\lambda} = R_{a'}$$

$$\cos^2\varrho + \cos^2 2\varrho + \cos^2 3\varrho + \ldots + \cos^2(n-3)\varrho + \cos^2(n-2)\varrho + \cos^2(n-1)\varrho = \nu,$$

so erhalten wir

$$\Sigma_a = \nu\cdot(R_a - \Sigma_a)$$

12a) $$\Sigma_a = \frac{\nu}{1+\nu}\cdot R_a$$

Es sei jetzt das zweite Elastizitätsgleichungssystem entwickelt:

$$\begin{cases} Y_1 = \cos\varrho\left[A\frac{\beta}{\varkappa}+\frac{C}{\lambda}\cdot\frac{\gamma}{\varkappa}\right]-\frac{B}{\varkappa}-\cos\varrho\cdot\beta\Sigma_a-\Sigma_b+\cos\varrho\cdot\gamma\frac{\Sigma_c}{\lambda} \\ Y_2 = \cos 2\varrho\left[A\frac{\beta}{\varkappa}+\frac{C}{\lambda}\cdot\frac{\gamma}{\varkappa}\right]-\frac{B}{\varkappa}-\cos 2\varrho\cdot\beta\Sigma_a-\Sigma_b+\cos 2\varrho\cdot\gamma\frac{\Sigma_c}{\lambda} \\ Y_3 = \cos 3\varrho\left[A\frac{\beta}{\varkappa}+\frac{C}{\lambda}\cdot\frac{\gamma}{\varkappa}\right]-\frac{B}{\varkappa}-\cos 3\varrho\cdot\beta\Sigma_a-\Sigma_b+\cos 3\varrho\cdot\gamma\frac{\Sigma_c}{\lambda} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ Y_{n-1} = \cos(n-1)\varrho\left[A\frac{\beta}{\varkappa}+\frac{C}{\lambda}\cdot\frac{\gamma}{\varkappa}\right]-\frac{B}{\varkappa}-\cos(n-1)\varrho\cdot\beta\Sigma_a-\Sigma_b \\ \qquad +\cos(n-1)\varrho\cdot\gamma\cdot\frac{\Sigma_c}{\lambda}. \end{cases}$$

Die Addition dieser $(n-1)$ Gleichungen liefert sofort:

$$Y_1+Y_2+Y_3+\ldots+Y_{n-1} = \Sigma_b = -(n-1)\left(\frac{B}{\varkappa}+\Sigma_b\right).$$

12b) $$\Sigma_b = -\frac{n-1}{n}\cdot\frac{B}{\varkappa}.$$

Nehmen wir schließlich das dritte Elastizitätsgleichungssystem:

$$\begin{cases} \frac{Z_1}{\lambda} = \frac{B}{\varkappa}-\cos\varrho\left[A\frac{\beta}{\varkappa}+\frac{C}{\lambda}\frac{(1-\alpha\beta)}{\varkappa}\right]+\Sigma_b-\cos\varrho\cdot\frac{\Sigma_c}{\lambda} \\ \frac{Z_2}{\lambda} = \frac{B}{\varkappa}-\cos 2\varrho\left[A\frac{\beta}{\varkappa}+\frac{C}{\lambda}\frac{(1-\alpha\beta)}{\varkappa}\right]+\Sigma_b-\cos 2\varrho\cdot\frac{\Sigma_c}{\lambda} \\ \frac{Z_3}{\lambda} = \frac{B}{\varkappa}-\cos 3\varrho\left[A\frac{\beta}{\varkappa}+\frac{C}{\lambda}\frac{(1-\alpha\beta)}{\varkappa}\right]+\Sigma_b-\cos 3\varrho\cdot\frac{\Sigma_c}{\lambda} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ \frac{Z_{n-1}}{\lambda} = \frac{B}{\varkappa}-\cos(n-1)\varrho\left[A\frac{\beta}{\varkappa}+\frac{C}{\lambda}\frac{(1-\alpha\beta)}{\varkappa}\right]+\Sigma_b \\ \qquad -\cos(n-1)\varrho\cdot\frac{\Sigma_c}{\lambda}. \end{cases}$$

Die erste Gleichung wird mit $\cos\varrho$, die zweite mit $\cos 2\varrho$, die dritte mit $\cos 3\varrho$, ... die letzte mit $\cos(n-1)\varrho$ multipliziert. Nach Zusammenziehung der Ergebnisse erhält man:

$$\frac{1}{\lambda}\left[Z_1\cos\varrho+Z_2\cos 2\varrho+Z_3\cos 3\varrho+\ldots+Z_{n-1}\cdot\cos(n-1)\varrho\right]$$
$$=\frac{\Sigma_c}{\lambda} = -\nu\cdot\left[\frac{\Sigma_c}{\lambda}+A\frac{\beta}{\varkappa}+\frac{C}{\lambda}\frac{1-\alpha\beta}{\varkappa}\right],$$

oder auch, wenn

$$A\frac{\beta}{\varkappa}+\frac{C}{\lambda}\cdot\frac{(1-\alpha\beta)}{\varkappa} = R_c$$

gesetzt wird.

12c) $$\frac{\Sigma_c}{\lambda} = -\frac{\nu}{1+\nu}\cdot R_c.$$

Verbinden wir die Gleichungen 11 und 12 miteinander, so gelangen wir zu den außerordentlich einfachen Beziehungen:

X) $$\begin{cases} X_m = \cos(m\varrho)\cdot\frac{R_a}{1+\nu}-\frac{\alpha}{n}\cdot\frac{B}{\varkappa} \\ Y_m = \frac{\cos(m\varrho)}{1+\nu}(\beta R_a+\gamma R_c)-\frac{1}{n}\frac{B}{\varkappa} \\ \frac{Z_m}{\lambda} = \frac{1}{n}\cdot\frac{B}{\varkappa}-\frac{\cos(m\varrho)}{1+\nu}\cdot R_c. \end{cases}$$

Es ist hierdurch der Nachweis erbracht, daß alle statisch unbestimmten Größen Funktionen der drei Belastungsglieder R_a, $\frac{B}{\varkappa}$ und R_c sind. Es bleiben uns jetzt noch übrig, die statische Bedeutung dieser Glieder hervorzuheben und die Ermittlung ihrer Einflußflächen zu erläutern.

3. Die Einflußflächen der Ausdrücke R_a, $\frac{B}{\varkappa}$ und R_c.

In der Mitte des Hauptsystems bringen wir zunächst eine lotrechte Last $P_i = 1$ (Abb. 13). Sie erzeugt in den beiden Trägerhälften die gleichen Biegungsmomente:

$$M_l^i = M_r^i = -\tfrac{1}{2}x - U_a y + U_c.$$

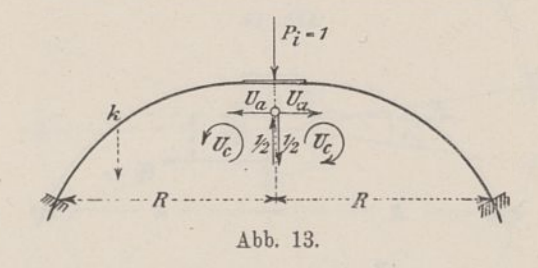


Abb. 13.

Die inneren Spannkräfte U_a und U_c folgen den bekannten Elastizitätsgleichungen

$$\int M^i\frac{ds}{EI} = \int M^i y\frac{ds}{EI} = 0,$$

welche liefern:

$$U_a = -\frac{\alpha}{2}, \qquad U_c = +\frac{\lambda}{2}.$$

Es ist daher:

$$M_l^i = M_r^i = \tfrac{1}{2}(\lambda+\alpha y - x).$$

Nach dem Maxwellschen Satze stimmt anderseits die Biegungslinie für den Belastungszustand $P_i = 1$ mit der Einflußlinie für die Durchbiegung des Mittelpunktes des Hauptsystems überein. Durch eine Last in einem Punkte k wird also eine Durchbiegung

$$\delta_{ik} = \int_{x=r}^{x=R}(M_l^0+M_r^0)\frac{M^i}{EI}ds = \tfrac{1}{2}\int_{x=r}^{x=R}(M_l^0+M_r^0)(\lambda+\alpha y-x)\frac{ds}{EI}$$
$$= -\tfrac{1}{2}\int_{x=r}^{x=R}(M_l^0+M_r^0)\,x\frac{ds}{EI} = -B\int_{x=r}^{x=R}x^2\frac{ds}{EI}$$

hervorgerufen. Hieraus ergibt sich auch:

13) $$-\frac{1}{\varkappa}\cdot\frac{\delta_{ik}}{\int_{x=r}^{x=R}x^2\frac{ds}{EI}} = \frac{B}{\varkappa}.$$

Diese Gleichung besagt, daß die Biegungslinie des Hauptsystems für eine Belastung

$$P_i = -\frac{1}{\varkappa\int_{x=r}^{x=R}x^2\frac{ds}{EI}}$$

zugleich die Einflußlinie des Wertes $\frac{B}{\varkappa}$ darstellt (Abb. 14). Hiermit ist die Ermittlung dieser Einflußlinie auf die einfache Aufgabe der Bestimmung einer Biegungs-

linie zurückgeführt.[5]) Wir schließen jetzt am Scheitelring einen lotrechten starren Stab an und lassen an dessen Ende eine wagerechte Kraft $W_i = 1$ angreifen (Abb. 15).

Es entstehen Biegungsmomente

$$M_l^i = W_i(e+y) - U_a y + U_b x + U_c;$$
$$M_r^i = -U_a y - U_b x + U_c.$$

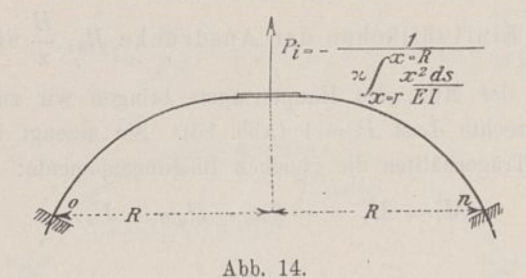


Abb. 14.

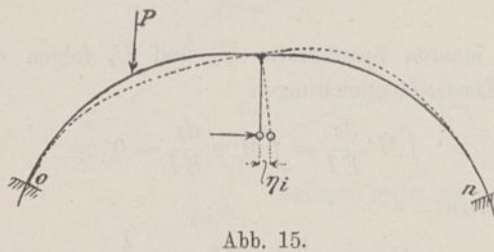


Abb. 15.

5) Es sei hier noch auf eine zweite, beachtenswerte Deutung der Gl. 13 hingewiesen. Man denke sich unter dem Scheitel des Hauptsystems eine lotrechte Pendelstütze angebracht, welche einen Widerstand D_i leistet (Abb. 16). Die Biegungsmomente dieses dreifach gestützten Bogens folgen den Gleichungen:

$$M_l = M_l^0 - D_i \overline{M}_l^i, \quad M_r = \overline{M}_l^0 - D_i M_r^i.$$

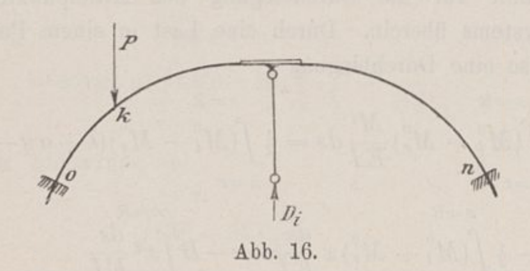


Abb. 16.

Der Stützendruck D_i ergibt sich aus der Elastizitätsgleichung

$$\int_{x=r}^{x=R} (M_l + M_r) \frac{\partial M}{\partial D_i} \frac{ds}{EI} = 0$$

zu:

$$D_i = + \frac{\int_{x=r}^{x=R} (M_l^0 + M_r^0)(\lambda + \alpha y - x) \frac{ds}{2EI}}{\frac{2}{4}\int_{x=r}^{x=R} (\lambda + \alpha y - x)^2 \frac{ds}{EI}}$$

$$= -2 \frac{\int_{x=r}^{x=R} \frac{(M_l^0 + M_r^0)}{2} \cdot x \frac{ds}{EI}}{\int_{x=r}^{x=R} x^2 \frac{ds}{EI}} \cdot \frac{\int_{x=r}^{x=R} x^2 \frac{ds}{EI}}{\int_{x=r}^{x=R} (\lambda + \alpha y - x)^2 \frac{ds}{EI}} = -2\frac{B}{\varkappa}$$

Hierbei ist unter e die lotrechte Entfernung zwischen der X-Achse und W_i verstanden.

Die Elastizitätsgleichungen

$$\int_{x=r}^{x=R} (M_l^i + M_r^i) y \frac{ds}{EI} = \int_{x=r}^{x=R} (M_l^i - M_r^i) x \frac{ds}{EI} = \int_{x=r}^{x=R} (M_l^i + M_r^i) \frac{ds}{EI} = 0$$

liefern für die inneren Spannkräfte die Werte:

$$U_a = \frac{1}{2} W_i; \quad U_b = -\frac{W_i}{2}\left(\beta + \frac{e}{\lambda}\gamma\right); \quad U_c = -e\frac{W_i}{2}.$$

Nimmt man

$$e = \frac{\beta\lambda}{1-\gamma},$$

so ergibt sich:

$$M_l^i = -M_r^i = \frac{1}{2}\left[y + \frac{\beta}{1-\gamma}(\lambda - x)\right].$$

Die wagerechte Verschiebung η_i, welche der Endpunkt des starren Stabes unter dem Einfluß der äußeren Belastung erfährt, ist nach dem Maxwellschen Satze:

$$\eta_i = \int_{x=r}^{x=R} (M_l^0 \cdot M_l^i + M_r^0 \cdot M_r^i) \frac{ds}{EI} = \frac{1}{2} \int_{x=r}^{x=R} (M_l^0 - M_r^0)\left[y + \frac{\beta}{1-\gamma}(\lambda - x)\right] \frac{ds}{EI},$$

oder auch:

$$\eta_i = \int_{x=r}^{x=R} \frac{(M_l^0 - M_r^0) y}{2} \frac{ds}{EI} + \frac{\beta\lambda}{1-\gamma} \int_{x=r}^{x=R} \frac{M_l^0 - M_r^0}{2} \cdot \frac{ds}{EI}$$

$$= \frac{\int_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}}{1-\gamma}\left[A(1-\gamma) + C\frac{\alpha\gamma}{\lambda}\right].$$

Somit:

$$14) \quad \frac{\eta_i}{\int_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}} \cdot \frac{1-\gamma}{\varkappa} = A\frac{(1-\gamma)}{\varkappa} + C\frac{\alpha\gamma}{\lambda\varkappa} = R_a.$$

Die Biegungslinie des Hauptsystems für den Belastungszustand

$$W_i = \frac{1-\gamma}{\varkappa \int_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}}$$

ist also auch die Einflußlinie des Wertes R_a (Abb. 17).

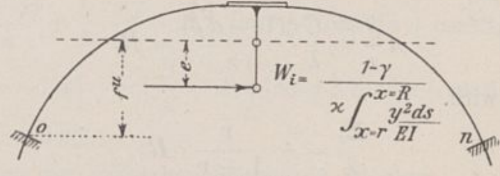


Abb. 17.

Da

$$\Sigma_b = -\frac{n-1}{n} \cdot \frac{B}{\varkappa},$$

so ist auch:

$$2\Sigma_b = +\frac{n-1}{n} \cdot D_i.$$

Hieraus geht hervor, daß bei genügend großer Rippenzahl die Summe $2\Sigma_b$ aller durch die Nebenrippen auf das Hauptsystem ausgeübten lotrechten Widerstände Y so groß wird, daß die Hauptrippen sich wie ein in der Mitte durch eine Pendelsäule gestützter eingespannter Bogen verhalten.

Lassen wir dagegen eine Kraft $W_i = -1$ am Ende eines starren Stabes, in der Tiefe

$$e' = \frac{1-\alpha\beta}{\alpha\gamma}\cdot\lambda$$

angreifen (Abb. 18), so werden Momente:

$$M_l^i = -M_r^i = -\frac{1}{2}\left[y + \lambda\frac{(1-\alpha\beta)}{\alpha\gamma} - \frac{x}{\alpha}\right]$$

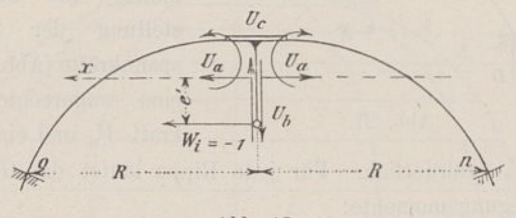


Abb. 18.

hervorgerufen. Infolge der äußeren Belastung verrückt sich in wagerechter Richtung der Endpunkt des starren Stabes um

$$\eta_i = -\int_{x=r}^{x=R}\frac{(M_l^0 - M_r^0)}{2}\left[y + \lambda\frac{(1-\alpha\beta)}{\alpha\gamma}\right]\frac{ds}{EI}$$

$$= -\frac{1}{\beta}\cdot\int_{x=r}^{x=R} y^2\frac{ds}{EI}\left[A\beta + \frac{C}{\lambda}(1-\alpha\beta)\right].$$

Mithin:

$$15)\qquad \frac{-\eta_i\cdot\beta}{\varkappa\int_{x=r}^{x=R} y^2\frac{ds}{EI}} = +\left[A\frac{\beta}{\varkappa} + \frac{C}{\lambda\varkappa}(1-\alpha\beta)\right] = R_c.$$

Letztere Gleichung beweist, daß die Biegungslinie des Hauptsystems für den Belastungszustand

$$W_i = \frac{-\beta}{\varkappa\int_{x=r}^{x=R} y^2\frac{ds}{EI}}$$

mit der Einflußlinie des Wertes R_c übereinstimmt (Abb. 19).

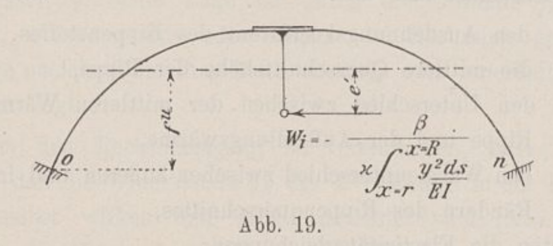


Abb. 19.

Auf Grund der drei Gleichungen 13, 14 und 15 sind wir also imstande, mit Hilfe dreier leicht zu ermittelnden Biegungslinien die Einflußlinien aller inneren Spannkräfte, bei allen möglichen Formen und Querschnittsverhältnissen der Rippen, zu gewinnen.

Bezeichnen wir mit M_{ik} das Biegungsmoment, welches durch die Belastung der i^{ten} Rippe in einem Querschnitte der k^{ten} Rippe erzeugt wird, und beachten wir, daß infolge der zyklischen Symmetrie $M_{ik} = M_{ki}$ sein muß, so erkennen wir, daß es genügt, die Einflußlinien für die Belastung einer einzigen Rippe zu bestimmen, um aus denselben durch zyklische Vertauschung sämtliche Einflußflächen abzuleiten.

§ 2. Die Kuppel mit ungerader Rippenanzahl.

Die bisherigen Entwicklungen setzten eine gerade Rippenanzahl voraus: wir werden jetzt kurz angeben, wie sich der Gang der Untersuchung bei ungerader Rippenanzahl gestaltet.

Das Hauptsystem wird aus dem Scheitelring, der belasteten Rippe und den beiden gegenüberliegenden Nebenrippen zusammengesetzt (Abb. 20). Durch den Schnitt $i—i$ wird dies Gebilde links in einen einfachen, und rechts in

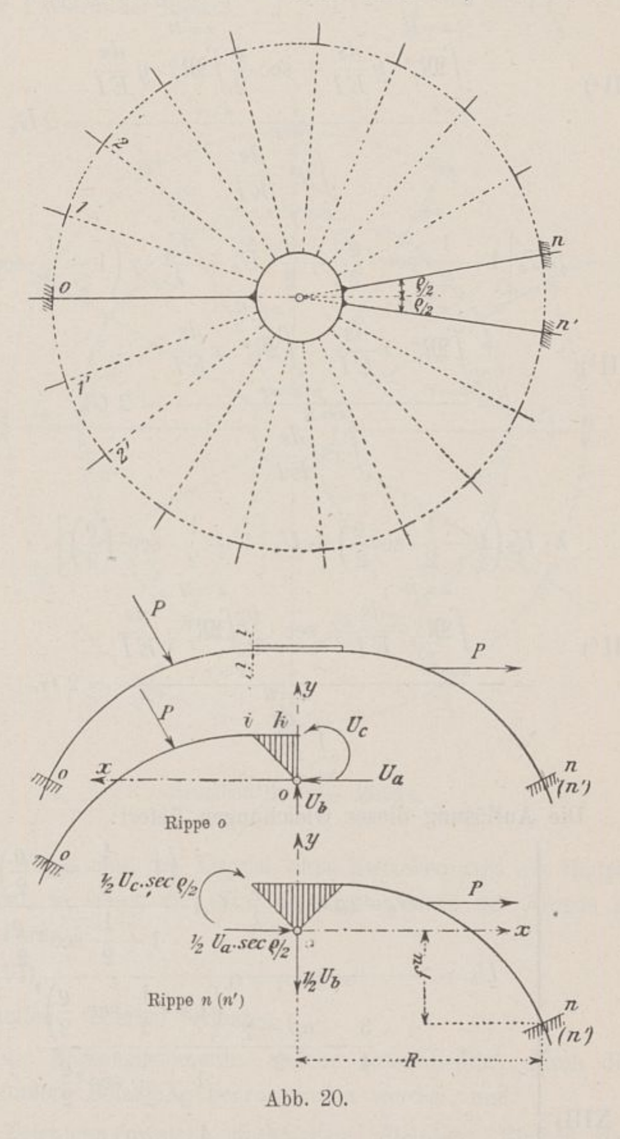


Abb. 20.

einen doppelten Freiträger zerlegt. Die Spannkräfte an der Schnittstelle werden in der üblichen Weise durch die drei Kraftgrößen U_a, U_b und U_c, welche am Endpunkt o der starren Scheibe iko angreifen, dargestellt. Die Gleichungen der Biegungsmomente lauten für den linken Freiträger:

$$16^{a})\qquad M_l^0 = \mathfrak{M}_l^0 - U_a y + U_b\cdot x + U_c,$$

für eine Rippe des rechten Freiträgers:

$$16^{b})\quad M_r^0 = \mathfrak{M}_r^0 - \sec\cdot\left(\frac{\varrho}{2}\right)\cdot\frac{U_a}{2}y - \frac{U_b}{2}\cdot x + \sec\cdot\left(\frac{\varrho}{2}\right)\cdot\frac{U_c}{2}.$$

Hierbei bedeuten $\mathfrak{M}_l^0$ und $\mathfrak{M}_r^0$ die Biegungsmomente, welche durch die alleinige äußere Belastung erzeugt werden, also für $U_a = U_b = U_c = 0$.

Die Kraftgrößen U_a, U_b und U_c genügen den folgenden Elastizitätsbedingungen:

$$\text{XI}^{a})\qquad \int_{x=r}^{x=R} M_l^0\cdot\frac{\partial M_l^0}{\partial U_a}\cdot\frac{ds}{EI} + 2\int_{x=r}^{x=R} M_r^0\cdot\frac{\partial M_r^0}{\partial U_a}\cdot\frac{ds}{EI} = 0;$$

$$\text{XI}^{b})\quad \int_{x=r}^{x=R} M_l^0 \cdot \frac{\partial M_l^0}{\partial U_b} \cdot \frac{ds}{EI} + 2\int_{x=r}^{x=R} M_r^0 \cdot \frac{\partial M_r^0}{\partial U_b} \cdot \frac{ds}{EI} = 0;$$

$$\text{XI}^{c})\quad \int_{x=r}^{x=R} M_l^0 \cdot \frac{\partial M}{\partial U_c} \cdot \frac{ds}{EI} + 2\int_{x=r}^{x=R} M_r^0 \cdot \frac{\partial M_r^0}{\partial U_c} \cdot \frac{ds}{EI} = 0.$$

Nach Vollziehung der Integration erhält man:

$$\text{XII}^{a})\quad U_a\left[1+\frac{1}{2}\cdot\sec^2\left(\frac{\varrho}{2}\right)\right] - \alpha\, U_b\left[1-\frac{1}{2}\cdot\sec\left(\frac{\varrho}{2}\right)\right] = \frac{\int_{x=r}^{x=R}\mathfrak{M}_l^0\cdot y\frac{ds}{EI} + \sec\cdot\frac{\varrho}{2}\int_{x=r}^{x=R}\mathfrak{M}_r^0\cdot y\frac{ds}{EI}}{\int_{x=r}^{x=R} y^2\frac{ds}{EI}} = 2\,G_a$$

$$\text{XII}^{b})\quad -\beta U_a\left[1-\frac{1}{2}\cdot\sec\cdot\frac{\varrho}{2}\right] + \frac{3}{2}\cdot U_b + \frac{U_c}{\lambda}\cdot\gamma\left(1-\frac{1}{2}\cdot\sec\frac{\varrho}{2}\right) = \frac{\int_{x=r}^{x=R}\mathfrak{M}_r^0\cdot x\frac{ds}{EI} - \int_{x=r}^{x=R}\mathfrak{M}_l^0\cdot x\frac{ds}{EI}}{\int_{x=r}^{x=R} x^2\frac{ds}{EI}} = 2\,G_b.$$

$$\text{XII}^{c})\quad \lambda\cdot U_b\left(1-\frac{1}{2}\cdot\sec\frac{\varrho}{2}\right) + U_c\left[1+\frac{1}{2}\cdot\sec^2\left(\frac{\varrho}{2}\right)\right] = -\frac{\int_{x=r}^{x=R}\mathfrak{M}_l^0\cdot\frac{ds}{EI} + \sec\cdot\frac{\varrho}{2}\int_{x=r}^{x=R}\mathfrak{M}_r^0\cdot\frac{ds}{EI}}{\int_{x=r}^{x=R}\frac{ds}{EI}} = 2\,G_c$$

Die Auflösung dieser Gleichungen liefert:

$$\text{XIII})\quad \begin{cases} U_b = \dfrac{G_b - \left(\beta G_a + \dfrac{\gamma}{\lambda}\cdot G_c\right)\cdot\dfrac{\left(1-\frac{1}{2}\cdot\sec\frac{\varrho}{2}\right)^2}{1+\frac{1}{2}\cdot\sec^2\frac{\varrho}{2}}}{\dfrac{3}{4} - \dfrac{\alpha\beta+\gamma}{2}\cdot\dfrac{\left(1-\frac{1}{2}\cdot\sec\frac{\varrho}{2}\right)^2}{1+\frac{1}{2}\cdot\sec^2\frac{\varrho}{2}}}; \\[2ex] U_a = \dfrac{2\,G_a + \alpha\, U_b\left(1-\frac{1}{2}\cdot\sec\frac{\varrho}{2}\right)}{1+\frac{1}{2}\cdot\sec^2\frac{\varrho}{2}}; \\[2ex] U_c = \dfrac{2\,G_c - \lambda\cdot U_b\left(1-\frac{1}{2}\cdot\sec\frac{\varrho}{2}\right)}{1+\frac{1}{2}\cdot\sec^2\frac{\varrho}{2}}. \end{cases}$$

Auf Grund der letzten Formeln ist man imstande, den Spannungszustand des Hauptsystems bei jeder Belastung zu bestimmen. Wirken auf das Hauptsystem die resultierenden Widerstände $2\Sigma_a$, $2\Sigma_b$, $2\Sigma_c$ aller Nebenrippen, so entstehen innere Spannkräfte U'_a, U'_b, U'_c und Biegungsmomente M'_l und M'_r, deren Zusammensetzung mit den entsprechenden Werten U_a^0, U_b^0, U_c^0, M_l^0 und M_r^0 die endgültigen Biegungsmomente M_l und M_r im Sinne der Gleichungen V liefert. Der weitere Gang der Untersuchung ist dann derselbe wie bei den Kuppeln mit gerader Rippenzahl.

§ 3. Untersuchung der gleichmäßig belasteten Kuppel.

Bevor wir uns mit der Theorie der Kuppel mit Zwischenringen befassen, haben wir noch einiges über den Fall einer gleichzeitigen und gleichartigen Belastung aller Rippen hinzuzufügen. Mit Rücksicht auf die Symmetrie sind zur Darstellung der Scheitelspannkräfte (Abb. 21) nur eine wagerechte Axialkraft V_a und ein Kräftepaar V_c erforderlich. Für jede Rippe lautet die Gleichung der Biegungsmomente:

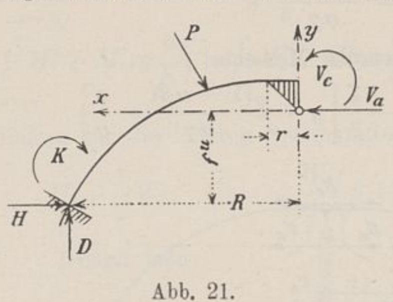


Abb. 21.

$$17)\qquad M = \mathfrak{M}_0 - V_a y + V_c.$$

Hierbei bedeutet $\mathfrak{M}_0$ das durch die äußere Belastung, im Falle $V_a = V_c = 0$, erzeugte Biegungsmoment. Die Elastizitätsgleichungen

$$\int_{x=r}^{x=R} M\cdot\frac{\partial M}{\partial V_a}\frac{ds}{EI} = \int_{x=r}^{x=R} M\cdot\frac{\partial M}{\partial V_c}\cdot\frac{ds}{EI} = 0$$

liefern nach Vollziehung der Integration:

$$\text{XIV})\quad V_a = \frac{\int_{x=r}^{x=R}\mathfrak{M}_0\cdot y\frac{ds}{EI}}{\int_{x=r}^{x=R} y^2\frac{ds}{EI}};\quad V_c = -\frac{\int_{x=r}^{x=R}\mathfrak{M}_0\frac{ds}{EI}}{\int_{x=r}^{x=R}\frac{ds}{EI}}.$$

Ganz ähnlich wird der Wärmeeinfluß untersucht. Es entstehen innere Spannkräfte V_{at} und V_{ct}, Biegungsmomente

$$18)\quad M_t = V_{ct} - V_{at}\cdot y,$$

und Axialkräfte $N_t = -V_{at}\cdot\cos\psi$. (Abb. 22).

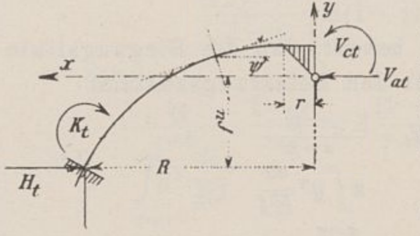


Abb. 22.

Bezeichnet man mit:

- ε den Ausdehnungskoeffizient des Rippenstoffes,
- h die mittlere Querschnittshöhe der Rippe,
- t den Unterschied zwischen der mittleren Wärme der Rippe und der Aufstellungswärme,
- Δt den Wärmeunterschied zwischen äußeren und inneren Rändern des Rippenquerschnittes,

so lauten die Elastizitätsgleichungen:

$$\int_{x=r}^{x=R} M_t\cdot\frac{\partial M_t}{\partial V_{at}}\cdot\frac{ds}{EI} + \int_{x=0}^{x=R}\varepsilon t\cdot\frac{\partial N_t}{\partial V_{at}}\cdot ds + \int_{x=0}^{x=R}\varepsilon\frac{\Delta t}{h}\cdot\frac{\partial M_t}{\partial V_{at}}\cdot ds = 0$$

$$\int_{x=r}^{x=R} M_t\cdot\frac{\partial M_t}{\partial V_{ct}}\cdot\frac{ds}{EI} + \int_{x=0}^{x=R}\varepsilon t\cdot\frac{\partial N_t}{\partial V_{ct}}\cdot ds + \int_{x=0}^{x=R}\varepsilon\frac{\Delta t}{h}\cdot\frac{\partial M_t}{\partial V_{ct}}\cdot ds = 0.$$

Hieraus ergibt sich nach einer kurzen Zwischenrechnung:

$$\text{XV})\quad V_{at} = \frac{\varepsilon t R + \int_{x=0}^{x=R}\varepsilon\frac{\Delta t}{h}\cdot y\,ds}{\int_{x=r}^{x=R} y^2\frac{ds}{EI}};\quad V_{ct} = -\frac{\int_{x=0}^{x=R}\varepsilon\frac{\Delta t}{h}\cdot ds}{\int_{x=r}^{x=R}\frac{ds}{EI}}.$$

§ 4. Die Kuppel mit Zwischenringen.

Durch die vorstehenden Ausführungen sind nun alle Unterlagen für die Untersuchung der Rippenkuppel mit Zwischenringen gewonnen.

Vom Scheitel ausgehend, erhalten die Zwischenringe die Ordnungsziffern $a, b, c \ldots r$ (Abb. 23): der k^{te} Ring hat den

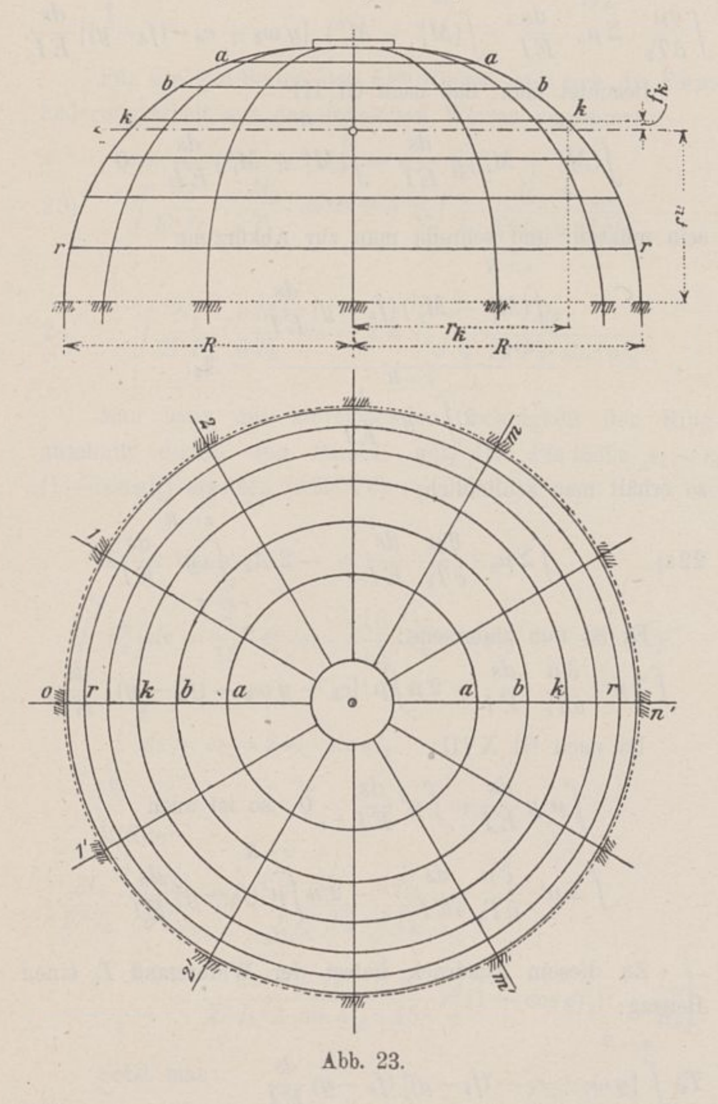


Abb. 23.

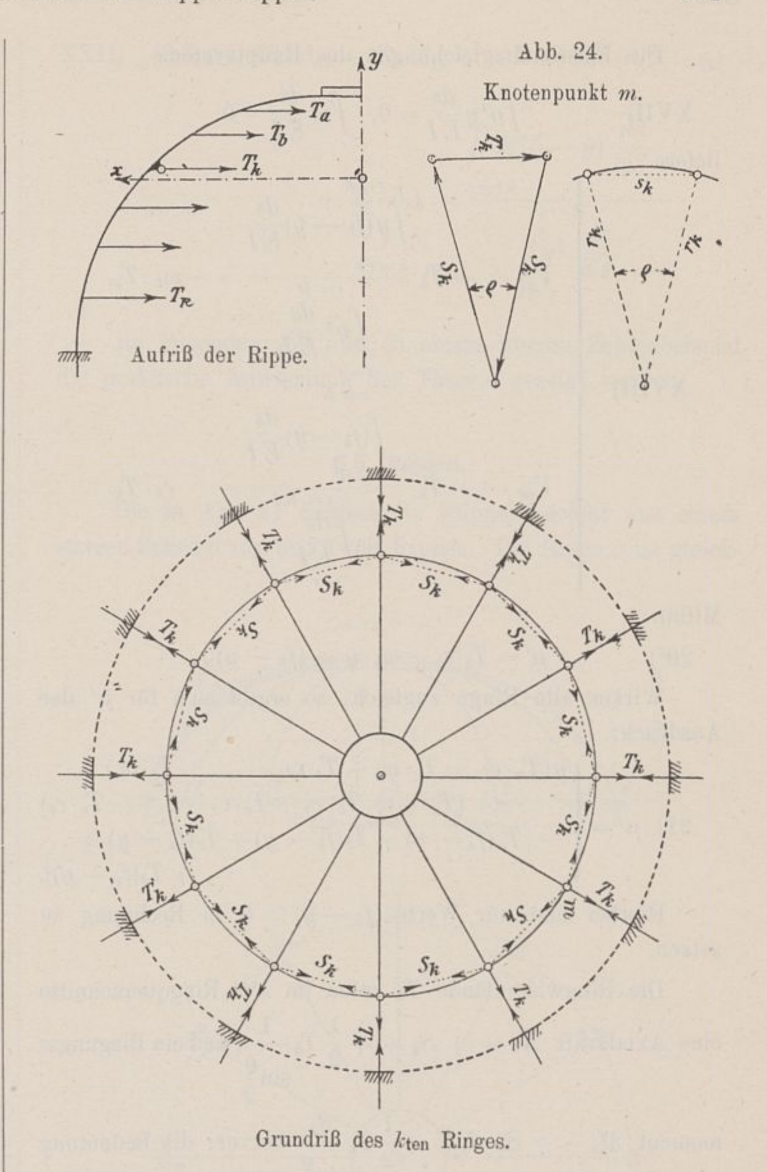
Halbmesser r_k, seine Lage ist durch die Ordinate f_k bestimmt, welche positiv oder negativ in Rechnung gesetzt wird, je nachdem die Ringebene oberhalb oder unterhalb der x-Achse liegt.

Um den Rechnungsgang zu vereinfachen, setzen wir voraus, daß die Widerstände T_k des k^{ten} Ringes in der Ringebene selbst wirken und radial gerichtet sind (Abb. 24). Werden die Ringe gelenkartig an die Rippen angeschlossen, so bilden sie gelenkige Stabzüge, welche nur durch die versteifende Wirkung der Rippen im Gleichgewicht gehalten werden können. Als Gleichgewichtsbedingung fordert die zyklische Symmetrie, daß sämtliche Widerstände T_k eines Ringes gleich groß und gleich gerichtet seien. Denkt man sich ein Seileck für diese Kräfte T_k gezeichnet, so schneiden sich die Seilstrahlen s_k in den Schnittpunkten der Rippenachsen mit der k^{ten} Ringebene; zwischen den Längen s_k und r_k einerseits, und den Seilkräften S_k und den Widerständen T_k anderseits, bestehen also die Beziehungen:

$$19) \qquad s_k = 2\, r_k \cdot \sin\frac{\varrho}{2}; \quad S_k = \frac{1}{2} \frac{T_k}{\sin\frac{\varrho}{2}}.$$

Abb. 24.

Knotenpunkt m.



Aufriß der Rippe.

Grundriß des k_{ten} Ringes.

Wählt man die Kuppel ohne Zwischenringe als Hauptsystem, so lassen sich die Biegungsmomente der Rippen in der Form

$$\text{XVI)} \qquad \mu = \mu_0 + \mu'$$

darstellen. Hierbei bedeuten

μ_0: die Biegungsmomente, welche ausschließlich durch die äußere Belastung hervorgerufen werden, und

μ': diejenigen, welche unter dem alleinigen Einfluß der Ringwiderstände entstehen.

Die Werte μ_0 stimmen mit den Werten M_m der Gl. 1 und den Werten M_l und M_r der Gl. V^a überein: hat man die Untersuchung der Kuppel ohne Zwischenringe durchgeführt, so sind diese Werte bekannt.

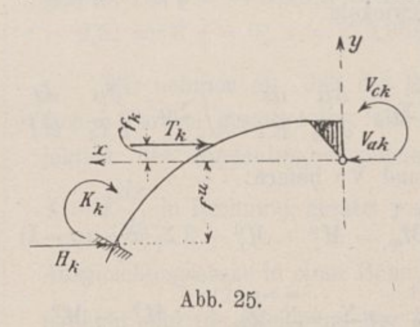


Abb. 25.

Zu ermitteln sind zunächst die Werte μ'. Da alle Rippen die gleichen Widerstände

$$T_a, T_b, T_c \ldots T_r$$

aufnehmen müssen, so liegt der Fall einer gleichartigen Belastung vor, und wir können sofort Gl. 17 und XIV anwenden.

Ist nur der k^{te} Ring vorhanden (Abb. 25), so wird

$$20) \qquad \mu' = -T_k\,(f_k - y) - y\,V_{ak} + V_{ck}$$

Die Elastizitätsgleichungen des Hauptsystems

$$\text{XVII)}\qquad \int \mu' y \frac{ds}{EI} = 0, \quad \int \mu' \frac{ds}{EI} = 0$$

liefern:

$$\text{XVIII)}\quad \begin{cases} V_{ak} = -T_k \dfrac{\int\limits_{x=rk}^{x=k} y(f_k - y)\dfrac{ds}{EI}}{\int\limits_{x=r}^{x=R} y^2 \dfrac{ds}{EI}} = -\omega_k \cdot T_k, \\[2ex] V_{ck} = +T_k \dfrac{\int\limits_{x=rk}^{x=R} (f_k - y)\dfrac{ds}{EI}}{\int\limits_{x=r}^{x=R} \dfrac{ds}{EI}} = c_k \cdot T_k. \end{cases}$$

Mithin:

$$20^{a})\qquad \mu' = T_k[c_k + \omega_k \cdot y - (f_k - y)].$$

Wirken alle Ringe zugleich, so ergibt sich für μ' der Ausdruck:

$$21)\quad \mu' = \begin{cases} y(T_a \cdot \omega_a + T_b \cdot \omega_b + T_c \cdot \omega_c + \ldots + T_r \cdot \omega_r) \\ \qquad + (T_a \cdot c_a + T_b \cdot c_b + T_c \cdot c_c + \ldots + T_r \cdot c_r) \\ - [T_a(f_a - y) + T_b(f_b - y) + T_c(f_c - y) + \ldots \\ \qquad + T_r(f_r - y)]. \end{cases}$$

Hierbei sind nur Werte $(f_k - y) > 0$ in Rechnung zu setzen.

Die Ringwiderstände T_k rufen im k^{ten} Ringquerschnitte eine Axialkraft $N_k = +S_k = +\frac{1}{2} T_k \frac{1}{\sin\frac{\varrho}{2}}$, und ein Biegungsmoment $M_k = +S_k \cdot d_k = +\frac{1}{2} T_k \frac{d_k}{\sin\frac{\varrho}{2}}$ hervor: die Bedeutung von d_k ist aus Abb. 26 ersichtlich. — Bezeichnet man mit F_k den Inhalt, mit I_k das Trägheitsmoment des k^{ten} Ringquerschnittes, mit E' das Elastizitätsmaß des Ringstoffes, so lautet die typische Elastizitätsgleichung der Ringwiderstände:

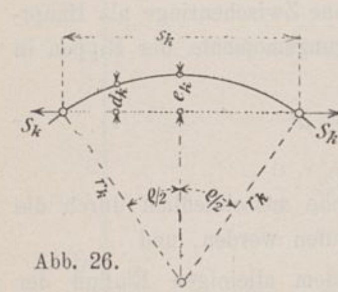


Abb. 26.

$$\text{XIX)}\ \int \frac{\mu}{EI} \frac{\partial \mu}{\partial T_k} \cdot ds + \int \frac{M_k}{E' I_k} \cdot \frac{\partial M_k}{\partial T_k} \cdot ds + \int \frac{N_k}{E' F_k} \cdot \frac{\partial N_k}{\partial T_k} \cdot ds = 0.$$

Das erste Integral erstreckt sich nur über die $2n$ Rippen, die übrigen gelten für die Ringe. Wir werden jetzt die drei Integrationen getrennt entwickeln.

Es ist zunächst:

$$22)\quad \int \frac{\mu}{EI} \cdot \frac{\partial \mu}{\partial T_k} \cdot ds = \int \Sigma \mu_0 \cdot \frac{\partial \mu}{\partial T_k} \cdot \frac{ds}{EI} + \int \Sigma \mu' \cdot \frac{\partial \mu}{\partial T_k} \cdot \frac{ds}{EI}.$$

Die Gleichungen 1 und V[a] liefern:

$$\Sigma \mu_0 = M_l + M_r + 2 \sum_{m=1}^{m=n-1} M_m = M_l^0 + M_r^0 + 2\Sigma_b(x - \alpha y - \lambda)$$
$$+ 2\left[y \sum_{m=1}^{m=n-1} X_m - x\Sigma_b - \sum_{m=1}^{m=n-1} Z_m\right] = M_l^0 + M_r^0$$
$$+ 2y\left(\sum_{m=1}^{m=n-1} X_m - \alpha \Sigma_b\right) - 2\left(\sum_{m=1}^{m=n-1} Z_m + \lambda \Sigma_b\right).$$

Nach Gl. X ist aber:

$$\sum_{m=1}^{m=n-1} X_m = -\alpha \cdot \frac{n-1}{n} \frac{B}{\varkappa} = \alpha \Sigma_b;$$
$$\sum_{m=1}^{m=n-1} Z_m = \lambda \cdot \frac{n-1}{n} \frac{B}{\varkappa} = -\lambda \Sigma_b.$$

Mithin ergibt sich: $\Sigma \mu_0 = M_l^0 + M_r^0$,

$$\int \frac{\partial \mu}{\partial T_k} \cdot \Sigma \mu_0 \cdot \frac{ds}{EI} = \int (M_l^0 + M_r^0)\ [y\,\omega_k + c_k - (f_k - y)] \frac{ds}{EI}.$$

Beachtet man, daß nach Gl. III

$$\int\limits_{x=r}^{x=R} (M_l^0 + M_r^0)\, y \frac{ds}{EI} = \int\limits_{x=r}^{x=R} (M_l^0 + M_r^0) \frac{ds}{EI} = 0$$

sein müssen, und schreibt man zur Abkürzung

$$\frac{\int\limits_{x=r_k}^{x=R} (M_l^0 + M_r^0)(f_k - y) \dfrac{ds}{EI}}{2\int\limits_{x=r}^{x=R} y^2 \dfrac{ds}{EI}} = A_k,$$

so erhält man schließlich:

$$22\text{a})\qquad \int \Sigma \mu_0 \cdot \frac{\partial \mu}{\partial T_k} \cdot \frac{ds}{EI} = -2A_k \cdot \int\limits_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}.$$

Es ist nun anderseits:

$$\int \Sigma \mu' \cdot \frac{\partial \mu}{\partial T_k} \cdot \frac{ds}{EI} = 2n \int \mu' [c_k + y\,\omega_k - (f_k - y)] \frac{ds}{EI}.$$

Da nach Gl. XVII:

$$\int \mu' y \frac{ds}{EI} = \int \mu' \frac{ds}{EI} = 0, \text{ so ist auch}$$

$$\int \Sigma \mu' \cdot \frac{\partial \mu}{\partial T_k} \cdot \frac{ds}{EI} = -2n \int\limits_{x=r_k}^{x=R} \mu' (f_k - y) \frac{ds}{EI}.$$

Zu diesem Ausdruck liefert der Widerstand T_i einen Beitrag:

$$T_i \int\limits_{x=r_k}^{x=R} [y\,\omega_i + c_i - (f_i - y)]\,(f_k - y) \frac{ds}{EI}$$
$$= T_i \left\{ (c_i - f_i) \int\limits_{x=r_k}^{x=R} (f_k - y) \frac{ds}{EI} + (1 + \omega_i) \int\limits_{x=r_k}^{x=R} y\,(f_k - y) \frac{ds}{EI} \right\}.$$

Die rechte Seite dieser Gleichung kann auch in der Form

$$-T_i \cdot \delta_{ik} \int\limits_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI} \text{ geschrieben werden, wobei}$$

$$\delta_{ik} = \frac{\int\limits_{x=r}^{x=R} \dfrac{ds}{EI}}{\int\limits_{x=r}^{x=R} y^2 \dfrac{ds}{EI}} \cdot c_k (f_i - c_i) - \omega_k (1 + \omega_i).$$

Dementsprechend ergibt sich als Beitrag aller Widerstände der Ausdruck:

$$22^{b})\ \begin{cases} \int \Sigma \mu' \cdot \dfrac{\partial \mu}{\partial T_k} \cdot \dfrac{ds}{EI} = 2n(T_a \delta_{ak} + T_b \cdot \delta_{bk} + T_c \cdot \delta_{ck} + \ldots \\ \qquad + T_r \cdot \delta_{rk}) \int\limits_{x=r}^{x=R} y^2 \dfrac{ds}{EI}. \end{cases}$$

Die Vereinigung der Gleichungen 22a) und 22b) liefert statt Gl. 22:

$$22^{c})\quad \begin{cases} \int \mu \cdot \frac{\partial \mu}{\partial T_k} \cdot \frac{ds}{EI} = 2n\,[T_a\,\delta_{ak} + T_b \cdot \delta_{bk} + T_c \cdot \delta_{ck} + \ldots \\ \qquad + T_r \cdot \delta_{rk} - \frac{1}{n} \cdot A_k] \int\limits_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}. \end{cases}$$

Für die $2n$ Seiten des k^{ten} Ringes setzt sich die Formänderungsarbeit aus den folgenden Werten zusammen:

$$23)\qquad \int \frac{M_k}{E' I_k} \cdot \frac{\partial M_k}{\partial T_k} \cdot ds = 2n\,T_k \int\limits_0^{s_k} \frac{d_k^2 \cdot ds}{4 \cdot E' I_k \cdot \sin^2 \varrho/_2}$$

$$24)\qquad \int \frac{N_k}{E' F_k} \cdot \frac{\partial N_k}{\partial T_k} \cdot ds = 2n\,T_k \int\limits_0^{s_k} \frac{ds}{4 \cdot E' F_k \cdot \sin^2 \varrho/_2}.$$

Man kann mit hinreichender Genauigkeit den Ringabschnitt durch eine Parabel mit der Pfeilhöhe $e_k = r_k\,(1 - \cos \varrho/_2)$ ersetzen (Abb. 26).

Es ist dann:

$$\int\limits_0^{s_k} d_k^2 \cdot ds = \frac{8}{15} \cdot e_k^2 \cdot s_k = \frac{16}{15} \cdot r_k^3 \cdot \sin \varrho/_2\;(1 - \cos \varrho/_2)^2.$$

$$\int\limits_0^{s_k} ds = s_k = 2\,r_k \cdot \sin \varrho/_2.$$

Mithin:

$$\int \frac{M_k}{E' I_k} \cdot \frac{\partial M_k}{\partial T_k} \cdot ds + \int \frac{N_k}{E' F_k} \cdot \frac{\partial N_k}{\partial T_k} \cdot ds$$

$$= \frac{2n\,T_k \cdot r_k}{E' I_k \cdot 2 \cdot \sin \varrho/_2} \left[\frac{8}{15} \cdot r_k^2 (1 - \cos \varrho/_2)^2 + \frac{I_k}{F_k}\right].$$

Setzt man:

$$\frac{r_k}{2 \cdot \sin \varrho/_2 \cdot E' \cdot I_k} \cdot \frac{\left[\frac{8}{15} \cdot r_k^2 (1 - \cos \varrho/_2)^2 + \frac{I_k}{F_k}\right]}{\int\limits_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}} = \varepsilon_k,$$

so ergibt sich auch:

$$25)\ \int \frac{M_k}{E\,I_k} \cdot \frac{\partial M_k}{\partial T_k} \cdot ds + \int \frac{N_k}{E' F_k} \cdot \frac{\partial N_k}{\partial T_k} \cdot ds = 2n\,T_k \cdot \varepsilon_k \cdot \int\limits_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}.$$

Faßt man die Gleichungen 22c) und 25) zusammen, so geht Gleichung XIX schließlich über in:

$$\text{XXI)}\ T_a \cdot \delta_{ak} + T_b \cdot \delta_{bk} + T_c \cdot \delta_{ck} + \ldots + T_k(\delta_{kk} + \varepsilon_k) + \ldots T_r \cdot \delta_{rk} = \frac{1}{n} \cdot A_k.$$

Dies ist die kennzeichnende Elastizitätsgleichung der Ringwiderstände: gibt man dem Zeiger k der Reihe nach die Ordnungsziffern $a, b, c \ldots r$, so erhält man r voneinander unabhängige Gleichungen, aus denen die r Ringwiderstände ermittelt werden können.

Handelt es sich um eine gleichartige Belastung aller Rippen, so erhält man statt Gleichung XXI:

$$\text{XXII)}\quad T_a\delta_{ak} + T_b \cdot \delta_{bk} + T_c \cdot \delta_{ck} + \ldots + T_k \cdot (\delta_{kk} + \varepsilon_k)$$

$$+ \ldots + T_r \cdot \delta_{rk} = \frac{\int\limits_{x=rk}^{x=R} M(f_k - y) \frac{ds}{EI}}{\int\limits_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}}.$$

Im folgenden soll nun an einem kurzen Zahlenbeispiel die praktische Anwendung der Theorie gezeigt werden.

§ 5. Beispiel.

Die in Abb. 27 dargestellte Kuppel besteht aus einem starren Scheitelring und zwölf Rippen. Die Rippe o ist gleich-

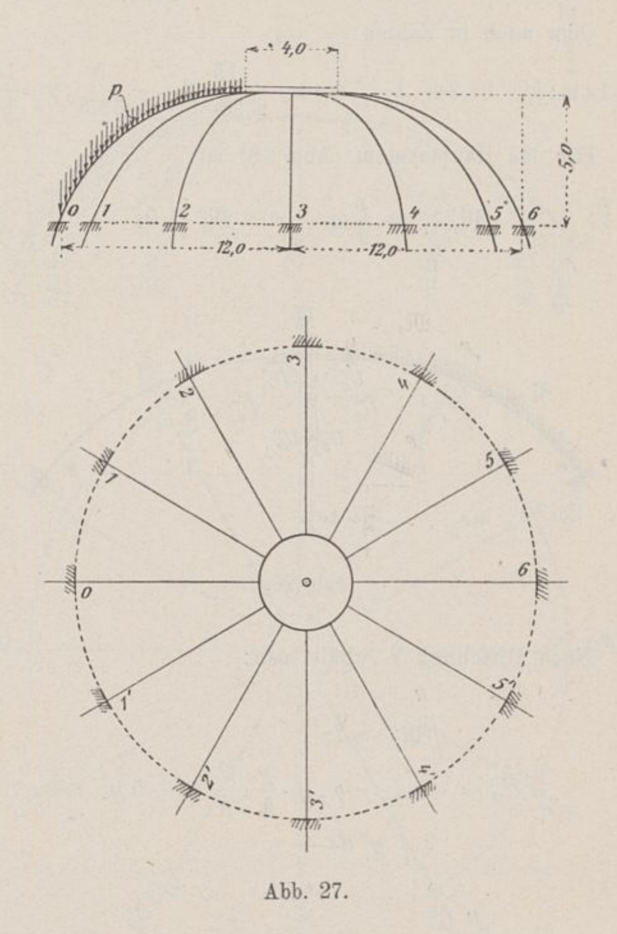


Abb. 27.

mäßig mit p t/m belastet. Gesucht sind die Stützenwiderstände. Die Hauptabmessungen der Kuppel sind $r = 2$ m; $R = 12$ m; $l = 10$ m; $f = 5$ m. Für $n = 6$, ist $\varrho = \frac{\pi}{n} = 30^0$. Mithin: $\cos \varrho = -\cos 5\,\varrho = 0{,}866603$; $\cos 2\,\varrho = -\cos 4\,\varrho = 0{,}5$; $\cos 3\,\varrho = 0$; $\nu = 2\,(0{,}86603^2 + 0{,}5^2) = 2$.

Wir nehmen an, daß die Rippenachse nach einer einfachen Parabel gestaltet ist, und daß für die lotrechte Projektion des Rippenträgheitsmomentes ein konstanter Wert $I_c = I \frac{dx}{ds}$ in Rechnung gesetzt werden darf. Daher liegt die Ausgleichungsebene in einer Höhe $f^u = \frac{2}{3} f$ über den Kämpferpunkten und die Gleichung der Rippenachse lautet

$$y = \frac{f}{3}\left[1 - 3\,\frac{(x - r)^2}{l^2}\right].$$

Es ist nun:

$$\int_r^R dx = l;\ \int_r^R x\,dx = \frac{l}{2}(l+2r);\ \int_r^R x^2\,dx = \frac{l^2}{3}\left(l+3r+3\frac{r^2}{l}\right);$$

$$\int_r^R xy\,dx = -\frac{1}{12}\cdot f l^2;\ \int_r^R y^2 dx = +\frac{4}{45}f^2 l.$$

Schreiben wir zur Abkürzung $l+2r=l'$; $l+3r+3\frac{r^2}{l}=l''$, so liefern die Gleichungen 5:

$$\lambda = \frac{l'}{2};\ \alpha = -\frac{15}{16}\frac{l}{f};\ \beta = -\frac{1}{4}\cdot\frac{f}{l''};\ \gamma = \frac{3}{4}\cdot\frac{l'^2}{ll''};$$

$$\alpha\beta = +\frac{15}{64}\cdot\frac{l}{l''}.$$

Oder auch in Zahlen:

$$l'=14\,\mathrm{m};\ l''=17{,}2\,\mathrm{m};\ \lambda=7\,\mathrm{m};\ \alpha=-\frac{15}{8};\ \beta=-\frac{5}{68{,}8};\ \gamma=\frac{147}{172}.$$

Für das Hauptsystem (Abb. 28) ist

$$\mathfrak{M}_l^0 = -\frac{p}{2}(x-r)^2;\ \mathfrak{M}_r^0 = 0.$$

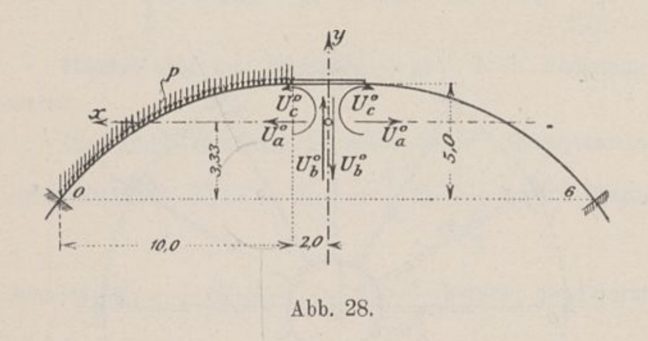


Abb. 28.

Nach Gleichung V erhält man:

$$U_a^0 = \frac{\int_r^R \mathfrak{M}_l^0\cdot y\,dx}{2\int_r^R y^2\,dx} = \frac{p}{4}\cdot\frac{l^2}{f} = +5\,p.$$

$$U_b^0 = -\frac{\int_r^R \mathfrak{M}_l^0\cdot x\,dx}{2\int_r^R x^2\,dx} = \frac{pl}{16}\cdot\frac{4r+3l}{l''} = 1{,}3808\,p,$$

$$U_c^0 = -\frac{\int_r^R \mathfrak{M}_l^0\cdot dx}{2\int_r^R dx} = \frac{pl^2}{12} = 8{,}3333\,p.$$

Es werden somit:

a) $$M_l^0 = -\frac{p}{2}(x-r)^2 - \frac{p}{4}\cdot\frac{l^2}{f}y + x\cdot\frac{pl}{16}\cdot\frac{4r+3l}{l''} + \frac{pl^2}{12}$$
$$= p\,\{8{,}3333 + 1{,}3808\,x - 5y - \tfrac{1}{2}(x-r)^2\}.$$

b) $$M_r^0 = -\frac{p}{4}\cdot\frac{l^2}{f}y - x\cdot\frac{pl}{16}\cdot\frac{4r+3l}{l''} + \frac{pl^2}{12}$$
$$= p\,\{8{,}3333 - 1{,}3808\,x - 5y\}.$$

$$A = \frac{\int_r^R (M_l^0 - M_r^0)\,y\,dx}{2\int_r^R y^2\,dx} = \frac{pl^2}{4f}\left(1-\frac{15}{64}\cdot\frac{4r+3l}{l''}\right) = 2{,}411\,p.$$

$$B = \frac{\int_r^R (M_l^0 + M_r^0)\,x\,dx}{2\int_r^R x^2\,dx} = \frac{pl^2}{8l''}\cdot\frac{l'-l-2r}{l} = 0.$$

$$\frac{C}{\lambda} = \frac{1}{\lambda}\,\frac{\int_r^R (M_l^0 - M_r^0)\,dx}{2\int_r^R dx} = \frac{1}{\lambda}\cdot\frac{pl^2}{96}\left(3\cdot\frac{l'}{l}\cdot\frac{4r+3l}{l''} - 8\right)$$
$$= 0{,}1905\,p.$$

$$R_a = \frac{(1-\gamma)A + \alpha\gamma\cdot\frac{C}{\lambda}}{1-\alpha\beta-\gamma} = 5{,}0\,p;$$

$$R_c = \frac{A\beta + (1-\alpha\beta)\cdot\frac{C}{\lambda}}{1-\alpha\beta-\gamma} = -1{,}1905\,p.$$

Nun liefern die Gleichungen 12, 2 und X:

$$\Sigma_a = \frac{2}{3}R_a = 3{,}3333p;\ \Sigma_b = -\frac{5}{6}\cdot\frac{B}{1-\alpha\beta-\gamma} = 0;$$
$$\frac{\Sigma_c}{\lambda} = -\frac{2}{3}R_c = +0{,}7936p.$$

$$X_m = \frac{1}{3}R_a\cos(m\varrho) = 1{,}6667p\cdot\cos(m\varrho) = -H_m.$$

$$Y_m = \frac{1}{3}(\beta R_a + \gamma R_c)\cos(m\varrho) = 0{,}46027p\cdot\cos(m\varrho) = D_m$$

$$\frac{Z_m}{\lambda} = -\frac{1}{3}R_c\cdot\cos(m\varrho) = 0{,}3968p\cdot\cos(m\varrho).$$

$$K_m = -\left(\frac{2}{3}f\cdot X_m + RY_m + Z_m\right) = -2{,}777p\cdot\cos(m\varrho).$$

Demnach erhält man:

$$\left\{\begin{aligned}
D_1 &= -D_5 = -0{,}86603\cdot 0{,}46027p = -0{,}3986p;\\
D_2 &= -D_4 = -0{,}5\cdot 0{,}46027p = -0{,}23013p;\\
H_1 &= -H_5 = -0{,}86603\cdot 1{,}6667\,p = -1{,}4444p;\\
H_2 &= -H_4 = -0{,}5\cdot 1{,}6667\,p = -0{,}8333p;\\
K_1 &= -K_5 = -0{,}86603\cdot 2{,}777\,p = -2{,}4056p;\\
K_2 &= -K_4 = -0{,}5\cdot 2{,}777\,p = -1{,}3888p;\\
D_3 &= H_3 = K_3 = 0.
\end{aligned}\right.$$

Für die Hauptrippen (Abb. 29) ist nach Gl. V^a:

$$U_a = U_a^0 - \Sigma_a = p\left(5-\frac{2}{3}\cdot 5\right) = 1{,}6667p;$$

$$U_a + 2\Sigma_a = p\left(5+\frac{2}{3}\cdot 5\right) = 8{,}333p;$$

$$U_b = U_b^0 + \beta\Sigma_a - \gamma\frac{\Sigma_c}{\lambda} = +0{,}46027p;$$

$$U_b - \left(\beta\Sigma_a + \gamma\frac{\Sigma_c}{\lambda}\right) = +0{,}46027p;$$

$$U_c = U_c^0 - \Sigma_c = p(8{,}3333 - \lambda\cdot 0{,}7936) = 2{,}777p;$$

$$U_c + 2\Sigma_c = +13{,}8888p.$$

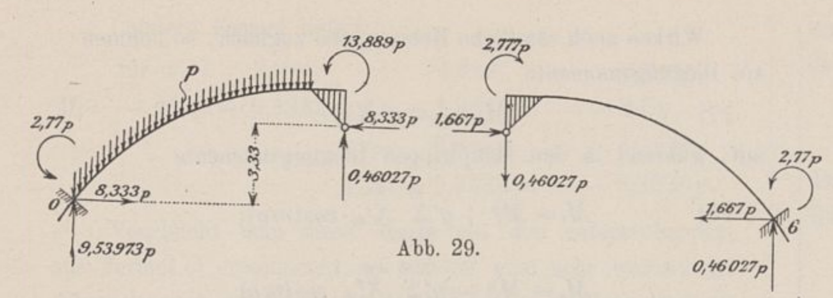


Abb. 29.

Mithin ergibt sich:

c) $M_l = p\left\{13{,}8888 + 0{,}46027x - 8{,}3333y - \frac{1}{2}(r-x)^2\right\}$

d) $M_r = p\{2{,}7777 - 0{,}46027x - 1{,}6667y\}$

$$D_0 = pl - U_b + \left(\beta\Sigma_a + \gamma\frac{\Sigma_c}{\lambda}\right) = p(10 - 0{,}46027) = 9{,}53973p;$$

$$D_6 = +U_b = +0{,}46027p;$$

$$H_0 = U_a + 2\Sigma_a = 8{,}3333p; \quad H_6 = U_a = 1{,}6667p;$$

$$K_0 = p\left(13{,}8888 + 0{,}46027\cdot 12 + 8{,}3333\cdot\frac{2}{3}\cdot 5 - \frac{1}{2}\cdot 10^2\right) = -2{,}777p;$$

$$K_6 = p\left(2{,}7777 - 0{,}46027\cdot 12 + 1{,}6667\cdot\frac{2}{3}\right) = +2{,}7777p.$$

Die Formeln a, b, c und d liefern:

für $x=$	$M_l^0=$	$M_r^0=$	$M_l=$	$M_r=$
0,0 m,	0,0 p,	0,0 p,	0,0 p,	0,0 p,
= 2,0 m,	= +2,7616 „	= −2,7616 „	= +0,9205 „	= −0,9205 „
= 4,0 m,	= +4,52 „	= −4,52 „	= +1,507 „	= −1,507 „
= 6,0 m,	= +4,28 „	= −4,28 „	= +1,427 „	= −1,427 „
= 8,0 m,	= +2,05 „	= −2,05 „	= +0,683 „	= −0,683 „
= 10,0 m,	= −2,19 „	= +2,19 „	= −0,731 „	= +0,731 „
= 12,0 m,	= −8,33 „	= +8,33 „	= −2,777 „	= +2,777 „

Diese Zahlen beweisen, daß die Biegungsmomente der Hauptrippen um das Dreifache geringer sind als die entsprechenden Biegungsmomente des Hauptsystems. Hieraus ersieht man, wie wenig zweckmäßig es ist, gegenüberliegende Rippen als unabhängige, eingespannte Bögen, ohne Rücksicht auf den räumlichen Zusammenhang zu behandeln.[6])

Nach Gl. 1 lautet die Gleichung der Biegungsmomente der Nebenrippen:

e) $M_m = p\cdot\cos(m\varrho)\,[1{,}6667y + 0{,}46027x - 7\cdot 0{,}3968]$.

Es ist daher für $x = 0{,}0m$; $= 2{,}0m$; $4{,}0m$;

$\dfrac{M_m}{p\cdot\cos(m\varrho)} = 0{,}0$; $= +0{,}9205p$; $+1{,}507p$;

$6{,}0m$; $8{,}0m$; $10{,}0m$; $12{,}0m$;

$+1{,}427p$; $+0{,}683p$; $-0{,}731p$; $-2{,}777p$;

6) Diese Art der Behandlung ist in der Praxis vielfach üblich.

Man erkennt sofort die außerordentlich einfache Beziehung:

$$M_m = \cos(m\varrho)\cdot M_l.$$

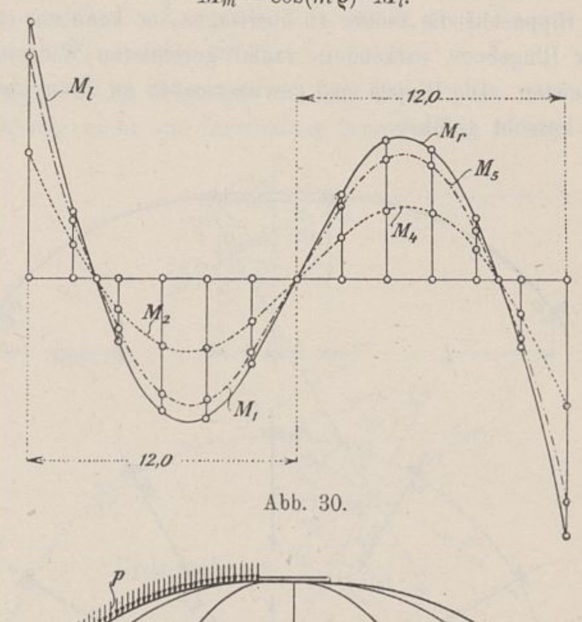


Abb. 30.

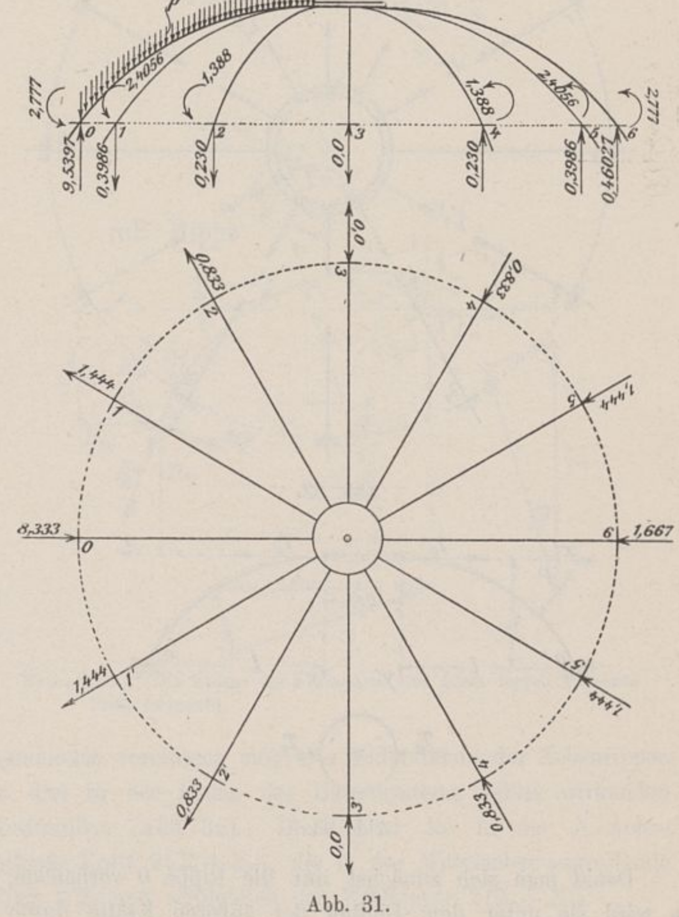


Abb. 31.

In den Abb. 30 und 31 ist das Bild der Biegungsmomente und der Stützenwiderstände dargestellt. Die Gesetzmäßigkeit in der Spannungsverteilung tritt als kennzeichnende Eigenschaft des räumlichen Gebildes hervor.

Es dürfte nun vielleicht von Interesse sein, die Ergebnisse unserer Rechnung mit denjenigen zu vergleichen, welche man auf Grund anderer Voraussetzungen über die innere Ausbildung der Rippenkuppel erhalten würde.

Ein in der Praxis[7]) sehr häufig angewandtes Rechnungsverfahren nimmt an, daß der Scheitelring gelenkartig an die

7) Vergl. Dr. Mautner, Beitrag zur Theorie der im Eisenbetonbau gebräuchlichen Form der Rippenkuppel.

Rippen angeschlossen wird (Abb. 32). Er ist daher nicht imstande, lotrechte Querkräfte und Biegungsmomente von einer Rippe auf die andere zu übertragen, er kann nur einen in der Ringebene wirkenden, radial gerichteten Widerstand X'_m leisten. Die Rippen sind gewissermaßen an ihrem oberen Ende lotrecht geführt.

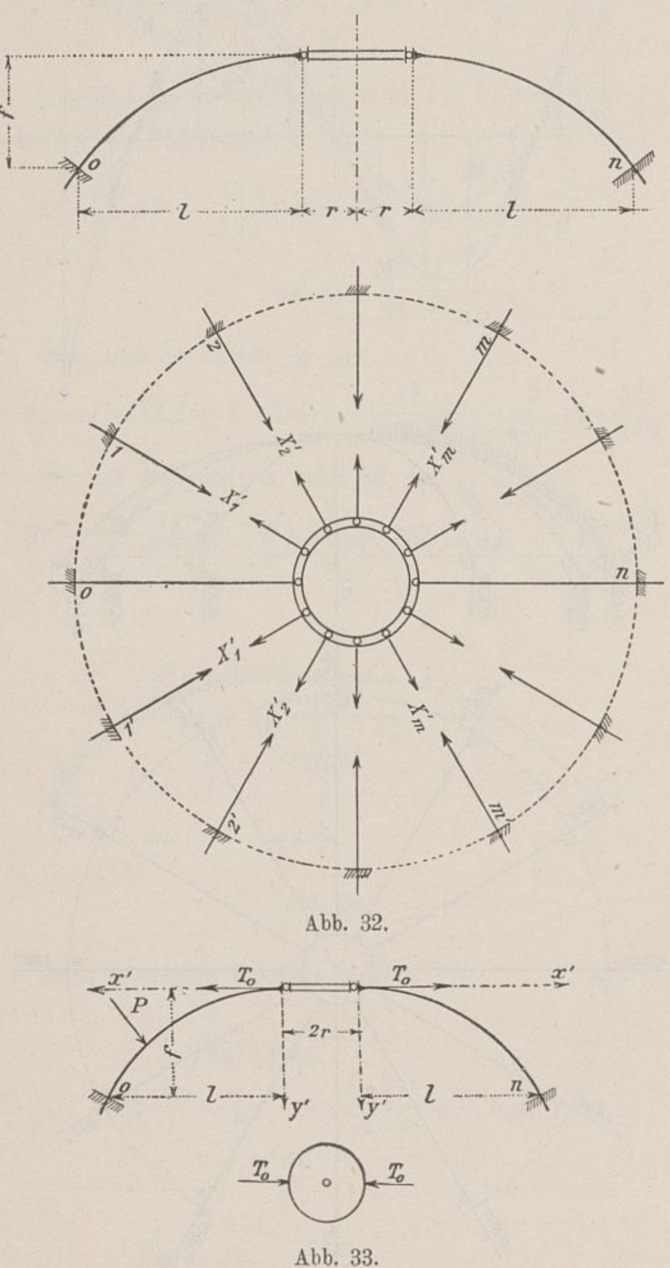


Abb. 32.

Abb. 33.

Denkt man sich zunächst nur die Rippe 0 vorhanden, so wird sie unter dem Einfluß der äußeren Kräfte durch Momente $\mathfrak{M}_0$ auf Biegung beansprucht. Sind der Scheitelring und die n^{te} Rippe auch angeschlossen (Abb. 33), so entstehen Ringwiderstände T_0 und Biegungsmomente

26) $$M_l^0 = \mathfrak{M}_0 + y' T_0, \quad M_r^0 = + y' T_0.$$

Aus der Elastizitätsgleichung:

$$\int_{x'=0}^{x'=l} (M_r^0 + M_l^0) \cdot y' \frac{ds}{EI} = 0, \text{ ergibt sich}$$

XXIII) $$T_0 = - \frac{\int_{x'=0}^{x'=l} \mathfrak{M}_0 \cdot y \frac{ds}{EI}}{2 \int_{x'=0}^{x'=l} y'^2 \frac{ds}{EI}}.$$

Wirken auch sämtliche Nebenrippen zugleich, so nehmen sie Biegungsmomente

27) $$M_m = - y' X'_m$$

auf, während in den Hauptrippen Biegungsmomente

28) $$M_l = M_l^0 + y' \sum_{m=1}^{m=n-1} X'_m \cdot \cos(m\varrho);$$

$$M_r = M_r^0 - y' \sum_{m=1}^{m=n-1} X'_m \cdot \cos(m\varrho)$$

hervorgerufen werden (Abb. 34). Die Elastizitätsgleichung

XXIV) $$\int M \cdot \frac{\partial M}{\partial X'_m} \cdot \frac{ds}{EI} = 0$$

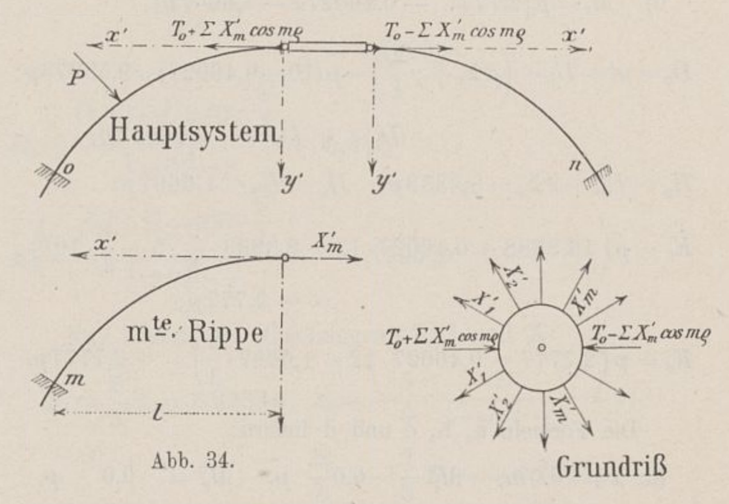


Abb. 34.

liefert nach einer kurzen Zwischenrechnung:

$$2 \int_{x'=0}^{x'=l} y'^2 \frac{ds}{EI} \left\{ X'_m + \cos(m\varrho) \sum_{m=1}^{m=n-1} X'_m \cdot \cos(m\varrho) + \frac{\int_{x'=0}^{x'=l} (M_l^0 - M_r^0) y' \frac{ds}{EI}}{2 \int_{x'=0}^{x'=l} y'^2 \frac{ds}{EI}} \right\} = 0.$$

Hieraus erhält man:

$$X'_m = - \cos(m\varrho) \left[\sum_{m=1}^{m=n-1} X'_m \cdot \cos(m\varrho) - T_0 \right]$$

$$(1 + \nu) \sum_{m=1}^{m=n-1} X'_m \cdot \cos(m\varrho) = \nu T_0.$$

XXV) $$\sum_{m=1}^{m=n-1} X'_m \cdot \cos(m\varrho) = \frac{\nu}{\nu + 1} \cdot T_0; \quad X'_m = \frac{T_0}{\nu + 1} \cdot \cos(m\varrho).$$

In unserem Beispiel ist:

$$y' = \frac{f}{l^2} \cdot x'^2; \quad \int_{x'=0}^{x'=l} y'^2 dx = f^2 \frac{l}{5}; \quad \mathfrak{M}_0 = - \frac{p}{2} \cdot x'^2.$$

Mithin $T_0 = 5 \frac{p}{4} \frac{\int x'^2 y' dx}{f^2 l} = p \frac{l^2}{4f} = 5{,}0 p.$

f) $$X'_m = \frac{5{,}0}{3} p \cdot \cos(m\varrho) = 1{,}6667 p = - H_m;$$

$$K_m = - f \cdot X'_m = - 8{,}333 p \cdot \cos(m\varrho).$$

$$\sum_{m=1}^{m=n-1} X'_m \cdot \cos(m\varrho) = \frac{2}{3} \cdot 5{,}0 p = 3{,}333 p.$$

g) $$M_l = - p \left[\frac{x'^2}{2} - (5{,}0 + 3{,}3333) y' \right] = - 0{,}08333 p \cdot x'^2 = - M_r.$$

Letztere Formel liefert

$$\begin{array}{llll}
\text{für } x' = & 2{,}0\,m; & = 4{,}0\,m; & = 6{,}0\,m; \\
M_l = -M_r = & -0{,}3333\,p; & = -1{,}3333\,p; & = -3{,}0\,p; \\
 & & = 8{,}0\,m; & = 10{,}0\,m \\
 & & = -5{,}3333\,p; & = -8{,}3333\,p.
\end{array}$$

Vergleicht man diese Werte mit den entsprechenden, aus Formel c) errechneten, so erkennt man sehr wesentliche Abweichungen nicht nur im Drehungssinn, sondern auch in der eigentlichen Größe der Biegungsmomente: die Unterschiede betragen, trotz der gleichen Schübe H_m, in den Kämpferquerschnitten nicht weniger als $100 \cdot \frac{8{,}333}{2{,}77} = 300$ vH.

Diese Zahlen zeigen deutlich, wie ungünstig und wie unzweckmäßig das Näherungsverfahren ist; es dürfte sich daher, trotz des größeren Arbeitsaufwandes, unbedingt empfehlen, eine genauere Untersuchung, im Rahmen der in unserer Abhandlung entwickelten Theorie, durchzuführen. Die Zweckmäßigkeit einer solchen Untersuchung wird durch einen bedeutenden Gewinn an Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Konstruktion in vollem Maße erwiesen.

II. Theorie der Rippenkuppel mit räumlicher Einspannung.

Der Gegenstand der folgenden Entwicklungen ist die Untersuchung der Kuppel mit gerader Rippenanzahl und ohne Zwischenringe.[8])

Betrachten wir zunächst die zwei Nebenrippen, welche den gleichen Winkel $\varphi_m = m\varrho$ mit dem Hauptsystem schließen (Abb. 35). Um die Spannungen zu kennzeichnen, welche an der Verbindungsstelle mit dem Scheitelring entstehen, sind außer den drei bisher betrachteten Kraftgrößen X_m, Y_m und Z_m noch drei Kraftgrößen erforderlich, und zwar sind es die Querkraft ξ_m, das in der Ausgleichsebene wirkende Kräftepaar L_m und das senkrecht zur Rippenebene drehende Kräftepaar ζ_m.

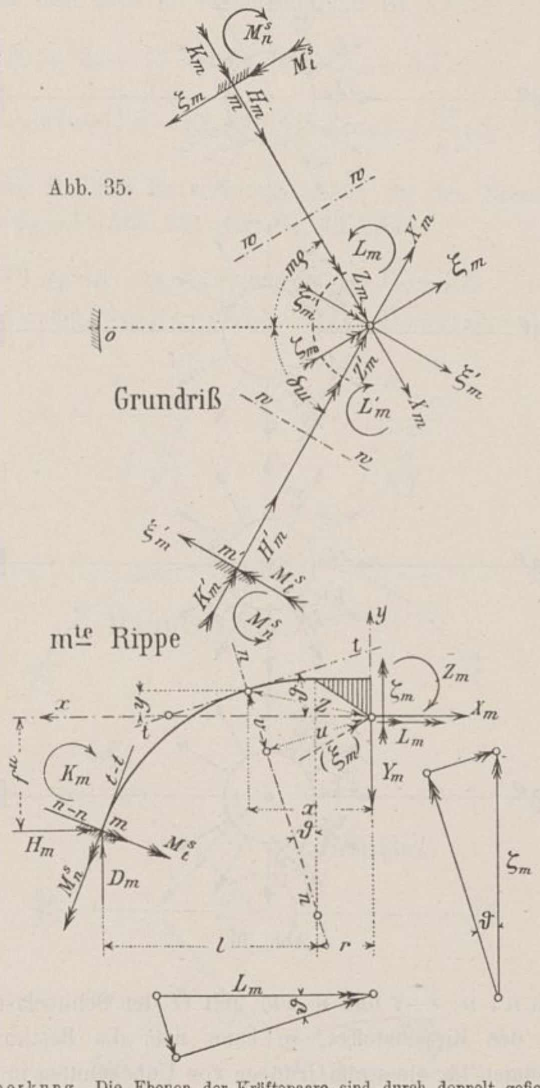
Die drei rechtwinklig zueinander stehenden Achsen, auf welche die Spannungen in jedem Rippenquerschnitt bezogen werden sollen, sind die Tangente $t-t$ zur Rippenmittellinie, die Normale $n-n$ und die zur Rippenebene senkrecht stehende Tangente $w-w$ der Kuppeloberfläche; die entsprechenden, durch die inneren Spannungen gebildeten Kräftepaare mögen mit M_t, M_n und M bezeichnet werden. M und M_n sind Biegungsmomente, M_t dagegen ist ein Verwindungsmoment. Zwischen den Kraftgrößen X_m, Y_m, Z_m, L_m, ξ_m, ζ_m und den Ordinaten x, y, z, u, v, ϑ bestehen die folgenden Beziehungen:

$$\text{XXVI)}\left\{\begin{aligned}
x &= u\cos\vartheta + v\sin\vartheta, \quad y = v\cos\vartheta - u\sin\vartheta, \\
&\qquad z^2 = x^2 + y^2 = u^2 + v^2; \\
M &= X_m \cdot y - Y_m \cdot x - Z_m; \\
M_n &= L_m \cdot \cos\vartheta + \zeta_m \cdot \sin\vartheta + u \cdot \xi_m; \\
M_t &= -L_m \cdot \sin\vartheta + \zeta_m \cdot \cos\vartheta - v \cdot \xi_m.
\end{aligned}\right.$$

Dementsprechend wird die räumliche Einspannung, außer den drei durch Gl. 2 bestimmten Widerständen D_m, H_m und K_m, noch durch den tangentialen Schub ξ_m und durch die Kräftepaare

$$\begin{aligned}
M_n^s &= L_m \cdot \cos\vartheta_0 + \zeta_m \cdot \sin\vartheta_0 + u_0 \cdot \xi_m, \\
M_t^s &= -L_m \cdot \sin\vartheta_0 + \zeta_m \cdot \cos\vartheta_0 - v_0 \cdot \xi_m
\end{aligned}$$

dargestellt. — Im Gegensatz zu den Nebenrippen wird das Hauptsystem nicht auf Verwindung beansprucht. Infolge der



Bemerkung. Die Ebenen der Kräftepaare sind durch doppelt gefiederte Pfeile dargestellt.

Symmetrie vereinigen sich alle Widerstände der Nebenrippen zu drei in der Ebene des Hauptsystems selbst wirkenden Kraftgrößen (Abb. 36). Diese sind die in der X-Achse fallende Kraft $2(\Sigma_a + \Sigma_a')$, die in der Mittelachse angreifende Kraft $2\Sigma_b$ und schließlich das Kräftepaar $2(\Sigma_c + \Sigma_c')$.

Hierbei ist

$$\Sigma_a' = \xi_1 \cdot \sin\varrho + \xi_2 \cdot \sin 2\varrho + \xi_3 \cdot \sin 3\varrho + \ldots + \xi_{n-1} \cdot \sin(n-1)\varrho.$$
$$\Sigma_c' = \zeta_1 \cdot \sin\varrho + \zeta_2 \cdot \sin 2\varrho + \zeta_3 \cdot \sin 3\varrho + \ldots + \zeta_{n-1} \cdot \sin(n-1)\varrho.$$

Die Gleichungen der Biegungsmomente des Hauptsystems lauten demnach:

$$\text{XXVII)}\left\{\begin{aligned}
M_l &= M_l^0 - (\Sigma_a + \Sigma_a')(y - \beta x) + \Sigma_b(x - \alpha y - \lambda) \\
&\qquad + \frac{(\Sigma_c + \Sigma_c')}{\lambda}(\lambda - \gamma x), \\
M_r &= M_r^0 + (\Sigma_a + \Sigma_a')(y - \beta x) + \Sigma_b(x - \alpha y - \lambda) \\
&\qquad - \frac{(\Sigma_c + \Sigma_c')}{\lambda}(\lambda - \gamma x).
\end{aligned}\right.$$

Bezeichnet man der Reihe nach mit I_n, I_t und I die Trägheitsmomente des Rippenquerschnittes in bezug auf die

8) Die sinngemäße Erweiterung des Verfahrens auf Kuppeln mit ungerader Rippenanzahl und solche mit Zwischenringen ist so einfach, daß sich eine eingehende Erläuterung erübrigt.

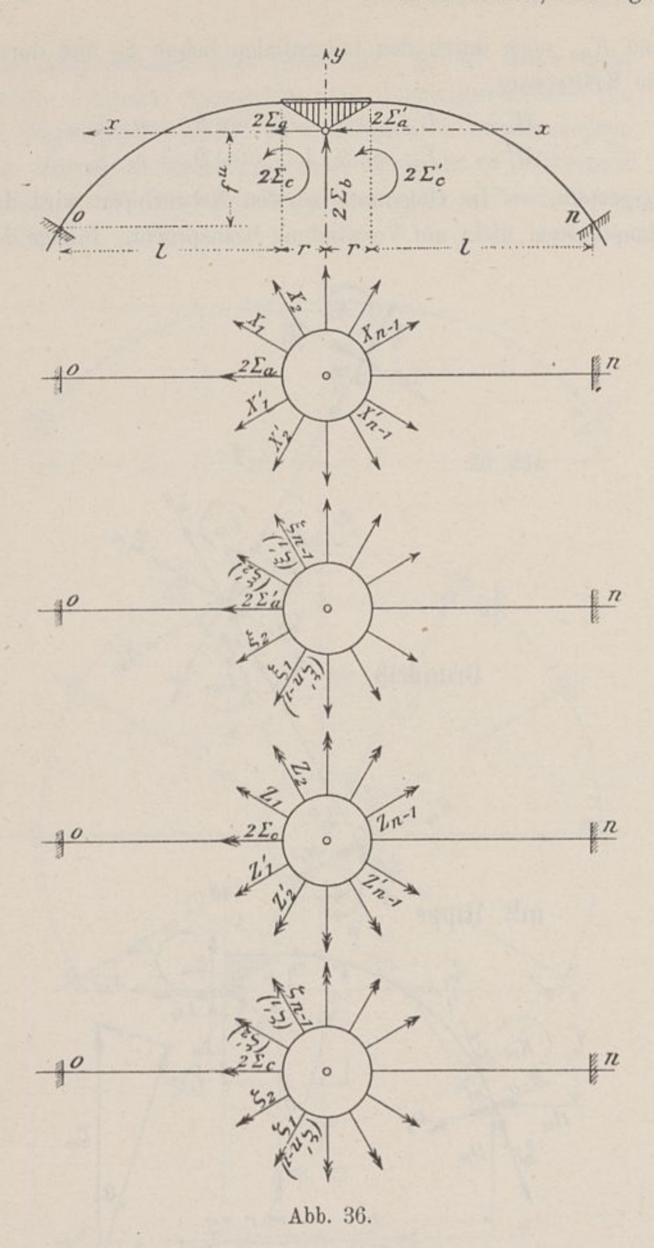


Abb. 36.

Achsen $n-n$, $t-t$ und $w-w$, mit G den Schubelastizitätsmodul des Rippenstoffes, so kann man die Bestimmungsgleichungen für die sechs Gruppen von Unbekannten in folgender Gestalt darstellen:

$$\text{XXVIII)}\quad \int\frac{M}{EI}\cdot\frac{\partial M}{\partial X_m}\cdot ds+\int\frac{M_n}{EI_n}\cdot\frac{\partial M_n}{\partial X_m}\cdot ds+\int\frac{M_t}{GI_t}\cdot\frac{\partial M_t}{\partial X_m}\cdot ds=0,$$

$$\text{XXIX)}\quad \int\frac{M}{EI}\cdot\frac{\partial M}{\partial Y_m}\cdot ds+\int\frac{M_n}{EI_n}\cdot\frac{\partial M_n}{\partial Y_m}\cdot ds+\int\frac{M_t}{GI_t}\cdot\frac{\partial M_t}{\partial Y_m}\cdot ds=0,$$

$$\text{XXX)}\quad \int\frac{M}{EI}\cdot\frac{\partial M}{\partial Z_m}\cdot ds+\int\frac{M_n}{EI_n}\cdot\frac{\partial M_n}{\partial Z_m}\cdot ds+\int\frac{M_t}{GI_t}\cdot\frac{\partial M_t}{\partial Z_m}\cdot ds=0,$$

$$\text{XXXI)}\quad \int\frac{M}{EI}\cdot\frac{\partial M}{\partial L_m}\cdot ds+\int\frac{M_n}{EI_n}\cdot\frac{\partial M_n}{\partial L_m}\cdot ds+\int\frac{M_t}{GI_t}\cdot\frac{\partial M_t}{\partial L_m}\cdot ds=0,$$

$$\text{XXXII)}\quad \int\frac{M}{EI}\cdot\frac{\partial M}{\partial \xi_m}\cdot ds+\int\frac{M_n}{EI_n}\cdot\frac{\partial M_n}{\partial \xi_m}\cdot ds+\int\frac{M_t}{GI_t}\cdot\frac{\partial M_t}{\partial \xi_m}\cdot ds=0,$$

$$\text{XXXIII)}\quad \int\frac{M}{EI}\cdot\frac{\partial M}{\partial \zeta_m}\cdot ds+\int\frac{M_n}{EI_n}\cdot\frac{\partial M_n}{\partial \zeta_m}\cdot ds+\int\frac{M_t}{GI_t}\cdot\frac{\partial M_t}{\partial \zeta_m}\cdot ds=0.$$

Die drei ersten Elastizitätsgleichungen stimmen mit den Gleichungen VII, VIII und IX der Kuppel mit ebener Einspannung überein, sobald man in den Beiträgen des Hauptsystems die Ausdrücke Σ_a und Σ_c durch $(\Sigma_a+\Sigma_a')$ und $(\Sigma_c+\Sigma_c')$ ersetzt. In dieser Weise erhält man sofort:

$$\text{XXVIII}^{a})\quad X_m-\alpha Y_m=\cos(m\varrho)\left[A-(\Sigma_a+\Sigma_a')(1-\alpha\beta)-\frac{(\Sigma_c+\Sigma_c')}{\lambda}\cdot\alpha\gamma\right],$$

$$\text{XXIX}^{a})\quad \beta X_m-Y_m-\gamma\frac{Z_m}{\lambda}=B+\Sigma_b(1-\alpha\beta-\gamma),$$

$$\text{XXX}^{a})\quad Y_m+\frac{Z_m}{\lambda}=-\cos(m\varrho)\left[\frac{C}{\lambda}+(\Sigma_a+\Sigma_a')\beta+\frac{\Sigma_c+\Sigma_c'}{\lambda}(1-\gamma)\right].$$

Die Auflösung dieser Gleichungen liefert:

$$\text{XXXIV}^{a})\quad X_m=\cos(m\varrho)\left[A\frac{(1-\gamma)}{\varkappa}+\frac{C\cdot\alpha\gamma}{\lambda\varkappa}\right]-\frac{\alpha B}{\varkappa}-\cos(m\varrho)(\Sigma_a+\Sigma_a')-\alpha\Sigma_b,$$

$$\text{XXXIV}^{b})\quad Y_m=\cos(m\varrho)\left[A\frac{\beta}{\varkappa}+\frac{\gamma C}{\varkappa\lambda}\right]-\frac{B}{\varkappa}-\cos(m\varrho)\cdot(\Sigma_a+\Sigma_a')\beta-\Sigma_b+\gamma\cos(m\varrho)\cdot\frac{(\Sigma_c+\Sigma_c')}{\lambda},$$

$$\text{XXXIV}^{c})\quad \frac{Z_m}{\lambda}=\frac{B}{\varkappa}-\cos(m\varrho)\left[A\frac{\beta}{\varkappa}+\frac{(1-\alpha\beta)}{\varkappa}\cdot\frac{C}{\lambda}\right]+\Sigma_b-\cos(m\varrho)\frac{(\Sigma_c+\Sigma_c')}{\lambda}.$$

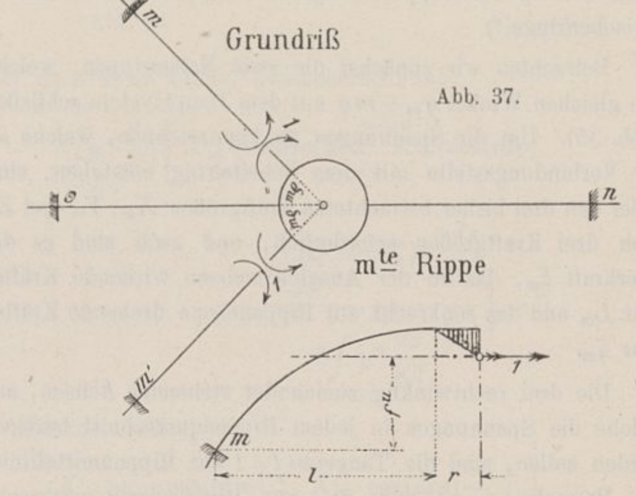


Abb. 37.

Im Belastungszustand $L_m=1$ (Abb. 37) werden nur die m^{ten} Nebenrippen in Spannung gesetzt. Die gesamte Formänderungsarbeit ist daher nach Gl. XXI:

$$\text{XXXI}^{a})\quad 2\int_{x=r}^{x=R}(L_m\cdot\cos\vartheta+\zeta_m\cdot\sin\vartheta+u\cdot\xi_m)\cdot\frac{\cos\vartheta\cdot ds}{EI_n}+2\int_{x=r}^{x=R}(L_m\cdot\sin\vartheta-\zeta_m\cdot\cos\vartheta+v\cdot\xi_m)\cdot\frac{\sin\vartheta\cdot ds}{GI_t}=0.$$

Hieraus ergibt sich, wenn zur Abkürzung

$$\int_{x=r}^{x=R}\left(\frac{1}{EI_n}-\frac{1}{GI_t}\right)\sin\vartheta\cos\vartheta\, ds=a_1,\quad \int_{x=r}^{x=R}\left(\frac{\sin^2\vartheta}{GI_t}+\frac{\cos^2\vartheta}{EI_n}\right)\cdot ds=a_2,$$

$$\int_{x=r}^{x=R}\left(\frac{u\cos\vartheta}{EI_n}+\frac{v\sin\vartheta}{GI_t}\right)\cdot ds=b_x$$

gesetzt werden.

XXXV) $L_m = -\frac{(\xi_m \cdot b_x + \zeta_m \cdot a_1)}{a_2}$.

Der Belastungszustand $\xi_m = 1$ (Abb. 38) ist dem Zustande $X_m = 1$ ähnlich. Der Beitrag des Hauptsystems zur Gl. XXXV kann ohne weiteres aus Gl. 8[b] abgeleitet werden,

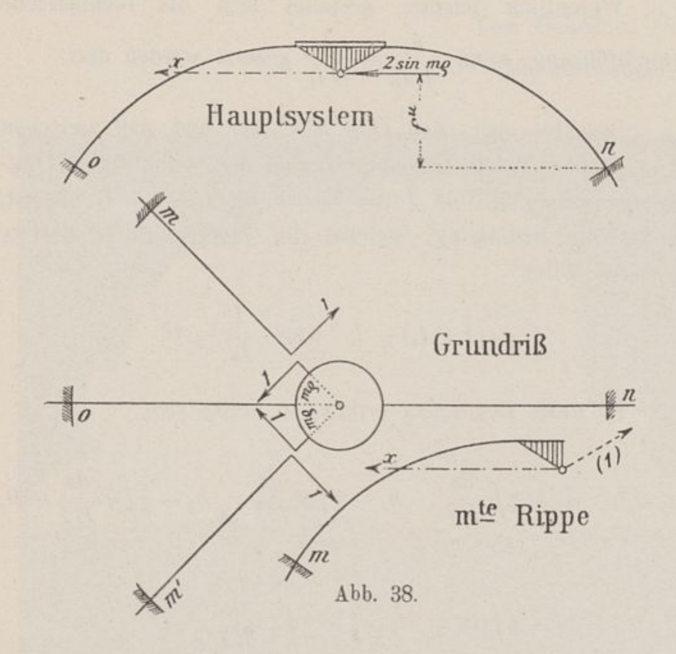


Abb. 38.

wenn man $\cos(m\varrho)$ mit $\sin(m\varrho)$, Σ_a mit $(\Sigma_a + \Sigma_a')$ und Σ_c mit $(\Sigma_c + \Sigma_c')$ vertauscht. Man erhält:

$$29^{a)}\ \int_{x=r}^{x=R} (M_l - M_r)(\beta x - y) \sin(m\varrho) \cdot \frac{ds}{EI}$$

$$= 2\sin(m\varrho)\left[(\Sigma_a + \Sigma_a')(1-\alpha\beta) + \frac{\alpha\gamma}{\lambda}(\Sigma_c + \Sigma_c') - A\right] \int_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}.$$

Hierzu liefern noch die m^{ten} Nebenrippen den Beitrag:

$$29^{b)}\ 2\int_{x=r}^{x=R} (L_m \cdot \cos\vartheta + \zeta_m \cdot \sin\vartheta + u \cdot \xi_m) \frac{u\, ds}{EI_n}$$

$$+ 2\int_{x=r}^{x=R} (L_m \cdot \sin\vartheta - \zeta_m \cdot \cos\vartheta + v \cdot \xi_m) \frac{v\, ds}{GI_t}.$$

Faßt man alle Werte zusammen, so geht, unter Beachtung von Gl. XXXV, die durch $2\int_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}$ gekürzte Gl. XXXII über in:

$$\frac{\xi_m\left(i - \frac{b_x^2}{a_2}\right) - \zeta_m\left(b_y + b_x \cdot \frac{a_1}{a_2}\right)}{\int_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}}$$

$$= \sin(m\varrho)\left[A - (\Sigma_a + \Sigma_a')(1-\alpha\beta) - \frac{\alpha\gamma}{\lambda}(\Sigma_c + \Sigma_c')\right],$$

wobei

$$b_y = \int_{x=r}^{x=R} \left(\frac{v\cos\vartheta}{GI_t} - \frac{u\sin\vartheta}{EI_n}\right) ds, \quad i = \int_{x=r}^{x=R} \left(\frac{u^2}{EI_n} + \frac{v^2}{GI_t}\right) ds.$$

Setzt man:

$$\frac{i - \frac{b_x^2}{a_2}}{\int_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}} = \tau_1, \quad \frac{b_y + b_x \cdot \frac{a_1}{a_2}}{\int_{x=r}^{x=R} y^2 \frac{ds}{EI}} = \frac{1}{\eta_1};$$

so erhält man auch in Verbindung mit Gl. XXIII[a]:

$$\text{XXXII}^{a)}\ \tau_1 \cdot \xi_m - \frac{\zeta_m}{\eta_1} = \text{tang}\cdot(m\varrho)(X_m - \alpha Y_m)$$

$$= \sin(m\varrho)\left[A - (\Sigma_a + \Sigma_a')(1-\alpha\beta) - \frac{\alpha\gamma}{\lambda}(\Sigma_c + \Sigma_c')\right].$$

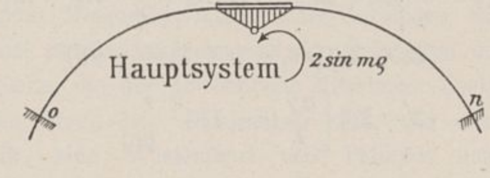
Eine ähnliche Entwicklung liefert für den Belastungszustand $\zeta_m = 1$ (Abb. 39) statt Gl. XXXIII:

$$\text{XXXIII}^{a)}\ \tau_2 \cdot \zeta_m - \eta_2 \cdot \xi_m = \text{tang}(m\varrho)(\lambda Y_m + Z_m)$$

$$= -\sin(m\varrho)\left[C + \beta\lambda(\Sigma_a + \Sigma_a') + (1-\gamma)(\Sigma_c + \Sigma_c')\right],$$

wobei

$$\tau_2 = \frac{a_2 - \frac{a_1^2}{a_2}}{\int_{x=r}^{x=R} \frac{ds}{EI}}, \quad \eta_2 = \frac{b_y + b_x \cdot \frac{a_1}{a_2}}{\int_{x=r}^{x=R} \frac{ds}{EI}}.$$



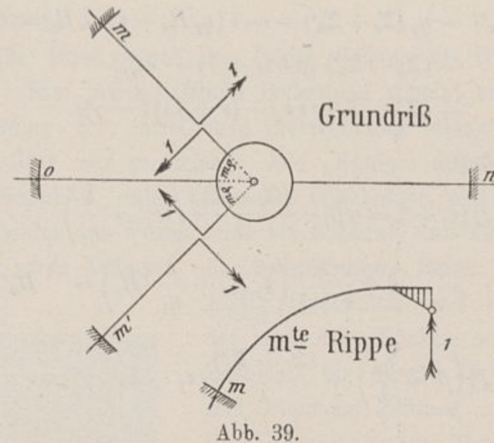


Abb. 39.

Die Gleichungen XXXII[a] und XXXIII[a] zeigen, daß die Werte ξ_m und ζ_m einfache Funktionen der Werte X_m, Y_m und Z_m sind. Da aber zur Bestimmung der letzteren nach Gl. XXXIV nur die bekannten Ausdrücke A, B, C und die Summenglieder Σ_a, Σ_a', Σ_b, Σ_c und Σ_c' erforderlich sind, so ist die Ermittlung dieser Werte Σ das letzte Ziel unserer Untersuchung. — Entwickelt man die Gleichungen XXXIV, so erhält man sofort:

$$\text{XXXVI)}\ \Sigma X_m \cdot \cos m\varrho = \Sigma_a = \frac{\nu}{\varkappa}\left[A(1-\gamma) + \frac{C\alpha\gamma}{\lambda}\right]$$

$$- \nu(\Sigma_a + \Sigma_a') = \nu R_a - \nu(\Sigma_a + \Sigma_a').$$

$$\text{XXXVII)}\ \Sigma Y_m = \Sigma_b = -(n-1)\left[\frac{B}{\varkappa} + \Sigma_b\right]; \quad \Sigma_b = -\frac{n-1}{n} \cdot \frac{B}{\varkappa}.$$

$$\text{XXXVIII)}\ \Sigma \frac{Z_m}{\lambda} \cdot \cos m\varrho = \frac{\Sigma_c}{\lambda} = -\frac{\nu}{\varkappa}\left[A\beta + (1-\alpha\beta)\frac{C}{\lambda}\right]$$

$$- \frac{\nu}{\lambda}(\Sigma_c + \Sigma_c') = -\nu R_c - \frac{\nu}{\lambda}(\Sigma_c + \Sigma_c').$$

In ähnlicher Weise ergibt sich aus den Gl. XXXII[a] und XXXIII[a], wenn man beachtet, daß

$$\sum_1^{n-1} \sin^2(m\varrho) = 1 + \sum_1^{n-1} \cos^2(m\varrho) = 1 + \nu \quad \text{ist,}$$

$$\text{XXXIX)} \quad \tau_1 \cdot \Sigma \xi_m \cdot \sin(m\varrho) - \frac{1}{\eta_1} \Sigma \zeta_m \cdot \sin(m\varrho) = \tau_1 \cdot \Sigma_a' - \frac{1}{\eta_1} \cdot \Sigma_c'$$
$$= (\nu+1)\left[A - (1-\alpha\beta)(\Sigma_a + \Sigma_a') - \frac{\alpha\gamma}{\lambda}(\Sigma_c + \Sigma_c')\right].$$

$$\text{XL)} \quad \tau_2 \cdot \Sigma \zeta_m \cdot \sin(m\varrho) - \eta_2 \cdot \Sigma \xi_m \cdot \sin(m\varrho) = \tau_2 \cdot \Sigma_c' - \eta_2 \cdot \Sigma_a'$$
$$= -(\nu+1)[C + \beta\lambda(\Sigma_a + \Sigma_a') + (1-\gamma)(\Sigma_c + \Sigma_c')].$$

Die Gl. XXXVI und XXXVII liefern anderseits auch:

$$\tau_1 \cdot \Sigma_a - \frac{1}{\eta_1} \cdot \Sigma_c = \nu\left(\tau_1 R_a + \frac{\lambda}{\eta_1} \cdot R_c\right) - \nu\tau_1(\Sigma_a + \Sigma_a') + \nu \frac{(\Sigma_c + \Sigma_c')}{\eta_1},$$

$$\tau_2 \cdot \Sigma_c - \eta_2 \cdot \Sigma_a = -\nu(\eta_2 R_a + \tau_2 \cdot \lambda R_c) + \nu \cdot \eta_2(\Sigma_a + \Sigma_a')$$
$$- \tau_2 \cdot \nu(\Sigma_c + \Sigma_c').$$

Faßt man die vier letzten Gleichungen zusammen, so erhält man

$$\tau_1(\Sigma_a + \Sigma_a') - \frac{1}{\eta_1}(\Sigma_c + \Sigma_c') = \nu\left(\tau_1 R_a + \frac{\lambda}{\eta_1} \cdot R_c\right) + A(\nu+1)$$
$$- (\Sigma_a + \Sigma_a')[\nu\tau_1 + (\nu+1)(1-\alpha\beta)]$$
$$- (\Sigma_c + \Sigma_c')\left[\frac{\alpha\gamma}{\lambda}(\nu+1) - \frac{\nu}{\eta_1}\right],$$

$$\tau_2(\Sigma_c + \Sigma_c') - \eta_2(\Sigma_a + \Sigma_a') = -\nu(\eta_2 R_a + \tau_2 \cdot \lambda R_c) - C(\nu+1)$$
$$- (\Sigma_a + \Sigma_a')[\beta\lambda(\nu+1) - \nu\eta_2]$$
$$- (\Sigma_c + \Sigma_c')[\nu\tau_2 + (\nu+1)(1-\gamma)].$$

Hieraus:

$$(\Sigma_a + \Sigma_a')(\tau_1 + 1 - \alpha\beta) + \frac{(\Sigma_c + \Sigma_c')}{\lambda}\left(\alpha\gamma - \frac{\lambda}{\eta_1}\right)$$
$$= A + \frac{\nu}{\nu+1}\left(\tau_1 R_a + \frac{\lambda}{\eta_1} \cdot R_c\right) = R_a' \cdot \frac{\nu}{1+\nu},$$

$$(\Sigma_a + \Sigma_a')\left(\beta - \frac{\eta_2}{\lambda}\right) + \frac{(\Sigma_c + \Sigma_c')}{\lambda}(\tau_2 + 1 - \gamma)$$
$$= -\frac{C}{\lambda} - \frac{\nu}{\nu+1}\left(R_a \cdot \frac{\eta_2}{\lambda} + \tau_2 \cdot R_c\right) = -R_c' \cdot \frac{\nu}{1+\nu}.$$

Löst man diese Gleichungen auf und setzt zur Abkürzung

$$\triangle = (\tau_1 + 1 - \alpha\beta)(\tau_2 + 1 - \gamma) - \left(\alpha\gamma - \frac{\lambda}{\eta_1}\right)\left(\beta - \frac{\eta_2}{\lambda}\right);$$

so ergibt sich schließlich:

$$\text{XLI)} \quad \triangle(\Sigma_a + \Sigma_a') = \frac{\nu}{1+\nu}\left[R_a'(\tau_2 + 1 - \gamma) + R_c'\left(\alpha\gamma - \frac{\lambda}{\eta_1}\right)\right],$$

$$\text{XLII)} \quad \triangle \frac{(\Sigma_c + \Sigma_c')}{\lambda} = -\frac{\nu}{1+\nu}\left[R_a'\left(\beta - \frac{\eta_2}{\lambda}\right) + R_c'(\tau_1 + 1 - \alpha\beta)\right].$$

Hat man mit Hilfe dieser einfachen Formeln $(\Sigma_a + \Sigma_a')$ und $(\Sigma_c + \Sigma_c')$ errechnet, so kann man auf Grund der Gl. XXXIV X_m, Y_m und Z_m bestimmen, und aus den letzteren, entsprechend den Gl. XXXII[a] und XXXIII[a], ξ_m und ζ_m ableiten. Hiermit ist die Aufgabe gelöst.

Wesentlich leichter gestaltet sich die rechnerische Durchführung, wenn $\frac{1}{EI_n} = \frac{1}{GI_t}$ gesetzt werden darf.

Beachtet man, daß $G = \frac{5}{13} E$ ist, und daß zwischen dem polaren Trägheitsmoment I_t und den äquatorialen Trägheitsmomenten I_n und I die Beziehung $I_t = I + I_n$ besteht, so ist die Bedingung, welcher die Querschnittsverhältnisse genügen sollen:

$$\tfrac{5}{13}(I + I_n) = I_n \quad \text{oder} \quad \frac{I}{I_n} = \tfrac{8}{5}.$$

Ist diese Bedingung erfüllt, so ergibt sich:

$$a_1 = 0, \quad a_2 = \tfrac{8}{5}\int_{x=r}^{x=R} \frac{ds}{EI}, \quad b_x = \tfrac{8}{5}\int_{x=r}^{x=R} x \frac{ds}{EI}, \quad b_y = \tfrac{5}{8}\int_{x=r}^{x=R} y \frac{ds}{EI} = 0,$$

$$i = \tfrac{8}{5}\int_{x=r}^{x=R} (u^2 + v^2)\frac{ds}{EI} = \tfrac{8}{5}\int_{x=r}^{x=R} x^2 \frac{ds}{EI},$$

$$\frac{1}{\eta_1} = \eta_2 = 0, \quad \triangle = (\tau_1 + 1 - \alpha\beta)(\tau_2 + 1 - \gamma) - \alpha\beta\gamma.$$

Mithin:

$$\begin{cases} L_m = -\lambda\,\xi_m, \\ \xi_m = \dfrac{1}{\tau_1}(X_m - \alpha Y_m)\operatorname{tang}(m\varrho), \quad \zeta_m = \tfrac{5}{8}(\lambda Y_m + Z_m)\operatorname{tang}(m\varrho). \\ R_a' = \tau_1 R_a, \quad R_c' = \tau_2 R_c, \\ \triangle(\Sigma_a + \Sigma_a') = \dfrac{\nu}{1+\nu}[\tau_1 R_a(\tau_2 + 1 - \gamma) + \alpha\gamma\tau_2 R_c], \\ \triangle\dfrac{(\Sigma_c + \Sigma_c')}{\lambda} = -\dfrac{\nu}{1+\nu}[\beta\tau_1 R_a + \tau_2 R_c(\tau_1 + 1 - \alpha\beta)]. \end{cases}$$

Diese Formeln sind so einfach, daß es sich erübrigt, ihre Vorzüge zu beleuchten.

Die vorstehenden Entwicklungen haben gezeigt, wie man die Untersuchung der Kuppel mit räumlicher Einspannung auf die Untersuchung der Kuppel mit ebener Einspannung zurückführen kann. Will man zu einem klaren Urteil über die Zweckmäßigkeit dieser beiden Stützungsarten gelangen, so wird es sich häufig empfehlen, die beiden Untersuchungen durchzuführen und ihre Ergebnisse zu vergleichen. In dieser Weise kann man so wertvolle Einblicke in das räumliche Kräftespiel gewinnen und die mannigfaltige Wirkungsweise des Tragwerks so anschaulich darstellen, daß der größere Arbeitsaufwand reichlich belohnt wird.

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S.